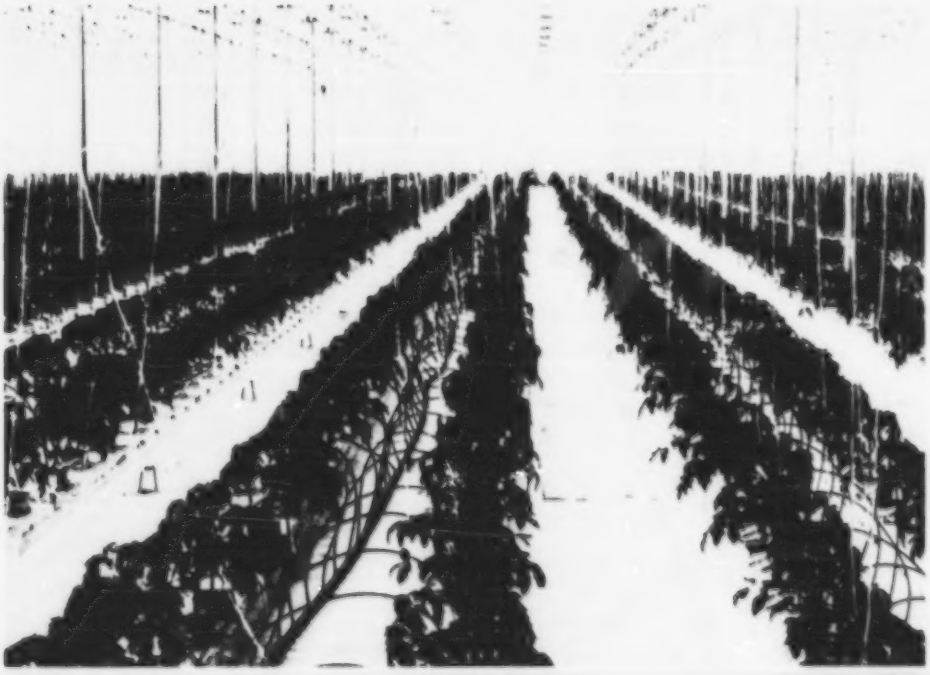
CPVQ

CONSEIL
DES PRODUCTIONS
VÉGÉTALES
DU QUÉBEC

LÉGUMES DE SERRE

CULTURE SUR FILM NUTRITIF (NFT) SUR LAINE DE ROCHE ET EN MILIEUX TOURBEUX



Québec

92-00372/

LÉGUMES DE SERRE

Culture sur film nutritif (NFT) sur laine de roche et en milieux tourbeux

Québec

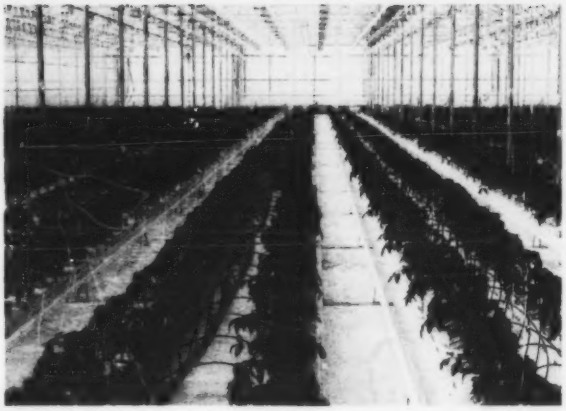


Photo page couverture. Culture de la tomate sur la laine de roche

Dépôt légal
Bibliothèque nationale
2e trimestre 1990
ISBN-2-551-12349-6

LÉGUMES DE SERRE, CULTURE SUR FILM NUTRITIF (NFT) SUR LAINE DE ROCHE ET EN MILIEUX TOURBEUX

COMITÉ DE RÉDACTION

BÉGIN, Serge — Agronome (recherche), *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Sainte-Foy.*

BOIVIN, Claire — Agronome et productrice, *Complexe serricole Drummond, Drummondville.*

DUBÉ, Yves — Technicien horticole, *Les Industries Harnois, Saint-Thomas de Joliette.*

GOSSELIN, André — Agronome (recherche), *Centre de spécialisation des cultures abritées, Sainte-Foy.*

LAROUGERY, Jean-Claude — Agronome (vulgarisation), *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Saint-Hyacinthe.*

RAYMOND, Guy — Agronome (enseignement), *Institut de technologie agro-alimentaire de Saint-Hyacinthe, Saint-Hyacinthe.*

TREMBLAY, Nicolas — Agronome (recherche), *Agriculture Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu.*

WEES, David — Agronome (enseignement et recherche), *Université McGill, Sainte-Anne-de-Bellevue.*

COLLABORATEURS

AUGER, Yvan — Conseiller technique, *Agro-Dynamics, Bernières.*

CHARBONNEAU, Josée — Agronome (recherche), *Centre de spécialisation des cultures abritées, Sainte-Foy.*

OUIMET, Rock — Agronome (recherche), *Centre de spécialisation des cultures abritées, Sainte-Foy.*

PARENT, Léon-Étienne — Agronome (recherche), *Centre de spécialisation des cultures abritées, Sainte-Foy.*

POIRIER, Guy — *Les Industries Harnois, Saint-Thomas de Joliette.*

SABOURIN, Henri — (Étudiant), *Centre de spécialisation des cultures abritées, Sainte-Foy.*

VÉZINA, François — Agronome (consultant), *Les Consultats Audet et Associés Inc., Drummondville.*

COMITÉ DES CULTURES ABRITÉES

BÉGIN, Serge — Agronome, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Sainte-Foy.*

BEHM, Richard — Agronome, *CÉGEP de Joliette, Joliette.*

BLAIN, Jacques — Agronome, *Les Tourbières Premier Ltée, Rivière-du-Loup.*

BOISVERT, André — Ingénieur et agronome, *Université Laval, Sainte-Foy.*

BOIVIN, Claire — Agronome, *Complexe serricole Drummond, Drummondville.*

BOUDREAU, Jean-Marc — Ingénieur et agronome, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Saint-Hyacinthe.*

BREAULT, David — Ingénieur et agronome, *Agritechnove Inc., Saint-Anselme.*

CARRIER, André — Agronome, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec.*

DANSEREAU, Blanche — Professeure, *Université Laval, Sainte-Foy.*

DENIS, Richard — Ingénieur, *Agritechnove inc., Saint-Anselme, Dorchester.*

DUBÉ, Yves — Technicien agricole, *Les industries Harnois, Saint-Thomas, Joliette.*

DUGAL, Andrée — Agronome, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Sainte-Foy.*

GAGNON, Serge — Agronome, *Centre de spécialisation des cultures abritées, Sainte-Foy.*

GOHIER, Jean-Pierre — Producteur, *Laurierville.*

GOSSELIN, André — Agronome, *Université Laval, Sainte-Foy.*

JACQMAIN, Émile — Chef de division, *Jardin botanique de la ville de Montréal, Montréal.*

KILSDONK, Chantal — Agronome, *DuPont Canada, Montréal.*

LA ROUGERY, Jean-Claude — Agronome, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Saint-Hyacinthe.*

LESSARD, Jean-Pierre — Ingénieur et agronome, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Saint-Hyacinthe.*

MORIN, André — Conseiller en commercialisaiton, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Montréal.*

MORIN, Denis — Ingénieur, *Les industries Harnois, Saint-Thomas, Joliette.*

MORISSETTE, Pierre — Technologiste agricole, *Régie des assurances agricoles du Québec, Lévis.*

MOUSSEAU, André — Producteur, *Les cactus fleuri Inc., Sainte-Madeleine, Saint-Hyacinthe.*

PAINCHAUD, Jacques — Agronome, *Saint-Guillaume, Yamaska.*

PARÉ, Serge — Président, *Syndicat des producteurs en serre, Lennoxville.*

PÉRIARD, Michel — Agronome, *Ciba-Geigy Canada Ltée, Dorval.*

RAYMOND, Guy — Agronome, *Institut de technologie agro-alimentaire de Saint-Hyacinthe, Saint-Hyacinthe.*

RIEL, Claude — Producteur, *Les serres Riel, Saint-Rémi, Napierville.*

RIOPEL, Bernard — Producteur, *Saint-Jacques, Montcalm.*

ROY, Marc-André — Agronome, *Nutrite Inc., Pike River.*

SAULNIER, Jocelyne — Agronome, *Serres Yves Lavoie Inc., Auteuil.*

SÉNÉCAL, Michel — Agronome, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, L'Assomption.*

SOUCY, Jean-Paul — Agronome, *Saint-Chrysostome.*

STEWART, Katrine — Professeure, *Université McGill, Sainte-Anne-de-Bellevue.*

THÉRIAULT, Roger — Ingénieur, *Université Laval, Sainte-Foy.*

TURCOTTE, Gilles — Agronome, *Cultiserre Mirabel Inc., Mirabel (Saint-Augustin).*

VAILLANCOURT, Daniel — Agronome, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Saint-Rémi, Napierville.*

VÉZINA, François — Agronome, *Les Consultants Audet et Associés Inc., Drummondville.*

WEES, David — Agronome, *Université McGill, Sainte-Anne-de-Bellevue*.
YELLE, Serge — Agronome, *Université Laval, Sainte-Foy*.

ÉDITION

Direction de la coordination scientifique et technique et direction des communications, *ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec*.

Présentation

Ce guide consacré à la culture hors sol est un document de base sur l'une des techniques de production les plus prometteuses pour la serriculture.

En effet, l'hydroponie permet une meilleure gestion des éléments minéraux essentiels à la croissance des plantes. Cependant, un minimum de connaisances est nécessaire pour bien comprendre l'ensemble des règles à respecter. Les membres du comité des Cultures abritées du Conseil des productions végétales du Québec présentent un premier document afin qu'il puisse servir de référence aux conseillers et aux serriculteurs québécois.

Afin que ce guide soit facilement utilisable, l'information générale s'appliquant à tout système de culture a été regroupée dans les trois premiers chapîtres. Par la suite, les informations spécifiques à chaque type de culture, soit le film nutritif (NFT), la culture sur laine de roche ou en milieux tourbeux, sont regroupés dans les sections correspondantes.

Dans le but de fournir des informations complètes sur chaque système, les détails pertinents ont été répétés dans les sections appropriées pour limiter, autant que possible, des renvois à un autre endroit dans le texte. Le lecteur bénéficie donc, outre des informations générales portant sur la qualité de l'eau et la fertilisation, de chapitres complets sur l'un ou l'autre type de culture.

SERGE BÉGIN, M.Sc. agronome
Président du Comité des
cultures abritées

CLAIRE BOIVIN, M.Sc. agronome
Coordonnatrice du Comité de
rédaction

Les noms de produits ou de compagnies mentionnés et illustrés dans ce guide, le sont à titre explicatif et n'impliquent pas une recommandation.

Table des matières

Historique et nomenclature 13

La qualité de l'eau 14
La qualité de l'eau et la croissance des plantes 14
La teneur en sels solubles 14
La concentration en certains éléments 15
La qualité de l'eau et le colmatage des systèmes d'irrigation 15
Les qualités physiques 16
Les qualités chimiques 16
Les qualités biologiques 17

La fertilisation 17
Les sources d'engrais 17
Le calcul des solutions nutritives 19
Les étapes à suivre dans l'ordre pour le calcul des solutions nutritives 20
La gestion de la fertilisation 21
Le rapport K/N 21
La conductivité électrique 22
Le pH 24
Conclusion 24

Le film nutritif (NFT) 25
Les avantages et les inconvénients 25
L'oxygénation de la solution nutritive 25
La circulation intermittente 26
Le chauffage de la solution nutritive 26
L'organisation de la serre et de l'équipement 26
Le système de caniveaux 26
Les types de supports et de caniveaux 27
La pente 29
La longueur des caniveaux 29
Réservoir, tubulures et pompes 29
Les besoins en solution 29
La tubulure d'alimentation 29
La canalisation de retour 29
Le bassin collecteur 30
Les pompes circulatrices 30
L'apport de fertilisants 31
Les pompes doseuses 31
Les régulateurs 31
Le pH 31
La conductivité électrique 31
Les micro-processeurs 34

La laine de roche 35
La nature du substrat 35
La fabrication 35
La composition 35
Les propriétés physiques 35
Les avantages et les inconvénients 35
La préparation de la serre 36
Le nivellement et le profilage du sol 36

Le paillis plastique 36
Le chauffage du substrat 37
La fertigation 37
L'équipement 37
La gestion de la fertigation 39
La conductivité électrique 39
Le volume et la fréquence d'irrigation 40
La réutilisation du substrat 41
Conclusion 42

Les milieux tourbeux 42
Les mélanges 42
Les mélanges U.C. (University of California) 42
Les mélanges Cornell (Peat-Lite) 42
Les autres mélanges 43
Les avantages et les inconvénients 43
Les systèmes de culture 44
La culture en bac 44
La culture en sac 44
Le nivellement et le profilage du sol 44
Le paillis plastique 44
Le chauffage du substrat 44
Le système d'irrigation 45
Le volume et la fréquence d'irrigation 45
Le pH 47
La conductivité électrique 48
La réutilisation du substrat 48

Les maladies racinaires 49
La prévention 49
La stérilisation du substrat 49
La répression 50
Conclusion 50

ANNEXE 1
Bibliographie 51

ANNEXE 2
Conversion d'unités utilisées dans le calcul de solutions nutritives et symboles des éléments 52

ANNEXE 3
Tableau utilisé pour le calcul des solutions nutritives 53

ANNEXE 4
Concentration recherchée des éléments dans une solution nutritive destinée à la tomate en culture hydroponique 54

ANNEXE 5
Tableau servant à la collecte de données pour une culture sur laine de roche 55

ANNEXE 6
Composition minérale des feuilles de tomate et de concombre 56

Liste des tableaux

TABLEAU 1 — **Interprétation des valeurs de conductivité électrique d'une eau d'irrigation avec l'appareil « SOLU-BRIDGE »** 15

TABLEAU 2 — **Concentrations maximales permises des éléments dans l'eau d'irrigation** 15

TABLEAU 3 — **Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium ($CaCO_3$)** 16

TABLEAU 4 — **Engrais utilisés pour la préparation de solutions nutritives** ... 18

TABLEAU 5 — **Ratios entre certains éléments suggérés pour la composition de la solution nutritive dans la culture de la tomate** 21

TABLEAU 6 — **Composition de solutions nutritives utilisées dans la culture de la tomate, du concombre, de la laitue et du piment en culture hydroponique (NFT et laine de roche)** 21

TABLEAU 7 — **Pente de la canalisation de retour selon le débit recherché et le diamètre du tube** 30

TABLEAU 8 — **Capacité requise de pompes servant à faire circuler la solution nutritive** 31

TABLEAU 9 — **Effets de la conductivité électrique sur la pression osmotique et le taux de respiration** 39

TABLEAU 10 — **Propriétés des ingrédients entrant dans la composition des milieux de culture** 43

TABLEAU 11 — **Espacement entre les sacs pour différentes densités de plantation** 45

TABLEAU 12 — **Composition des solutions nutritives utilisées pour la culture des légumes de serre en milieux tourbeaux** 47

TABLEAU 13 — **Guide général d'interprétation des analyses de milieux de culture artificiels suivant la méthode SSE (saturated soil extract)** 47

TABLEAU 14 — **Pathogènes identifiés en culture hydroponique** 49

TABLEAU 15 — **Températures à atteindre pour détruire certains pathogènes** 50

Liste des figures

FIGURE 1 — **Exemple de préparation de « solution-mère »** 19

FIGURE 2 — **Évolution du rapport de consommation K/N de la tomate** 22

FIGURE 3 — **Évolution recommandée de la conductivité électrique de la solution nutritive pour la production de tomates de printemps** 23

FIGURE 4 — **Câble sous tension qui retient la gaine et les plantes** 27

FIGURE 5 — **Caniveau monté sur une base en bois** 28

FIGURE 6 — **Caniveau qui repose sur une base et des rebords en polystyrène** 28

FIGURE 7 — **Caniveau qui repose sur une base en acier** 28

FIGURE 8 — **Tube flexible qui relie la canalisation d'alimentation au caniveau** 29

FIGURE 9 — **Tuyau collecteur placé à l'extrémité du caniveau qui recueille la solution nutritive s'écoulant par gravité** 30

FIGURE 10 — **Différents modèles de pompes doseuses** 32

FIGURE 11 — **Papier pH qui donne une mesure relativement précise du pH de la solution** 33

FIGURE 12 — **Différents types de pH mètre portatif** 33

FIGURE 13 — **Schéma de fonctionnement d'un système de maîtrise du pH** 34

FIGURE 14 — **Appareil qui permet de mesurer la conductivité électrique** 35

FIGURE 15 — **Forces de rétention de l'eau dans différents substrats : laine de roche, tourbe blonde fine, tourbe blonde très grossière, tourbe noire** 36

FIGURE 16 — **Aménagement des allées, des rangs de culture et du drainage pour favoriser l'écoulement de l'eau** 37

FIGURE 17 — **Aménagement du dispositif de chauffage sous le substrat de laine de roche pour maîtriser la température racinaire** 38

FIGURE 18 — **Incisions de drainage à la base du matelas, 48 heures après avoir saturé le substrat avec une solution nutritive au pH ajusté** 40

FIGURE 19 — **Exemple de dalle lysimétrique (gouttière de départ) commandant le déclenchement et l'arrêt de l'irrigation** 41

FIGURE 20 — **Évaluation du volume de la solution nutritive par plant par jour** 42

FIGURE 21 — **Exemple de bac pour la culture en milieux tourbeux** 44

FIGURE 22 — **Disposition des sacs de tourbe pour la culture du piment** 45

FIGURE 23 — **Utilisation d'un tensiomètre dans la gestion de la fertigation en milieux tourbeux** 46

Historique et nomenclature

Historique

L'origine de la culture hydroponique remonte au moins au XVII[e] siècle. En effet, en 1666, Robert Boyle démontre que la menthe verte et d'autres espèces peuvent croître en solution aqueuse.

Par la suite, plusieurs chercheurs se servent de la culture hydroponique pour déterminer les éléments nutritifs dont la plante a besoin. Les besoins sont déterminés en faisant croître les plantes dans des solutions contenant tous les éléments minéraux reconnus essentiels sauf celui dont on veut connaître l'essentialité.

Parmi les éléments nutritifs reconnus essentiels, on identifie le carbone (C), l'hydrogène (H_2) l'oxygène (O), l'azote (N), le soufre (S), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le molybdène (Mo),le chlore (Cl) et le bore (B). Les trois premiers éléments sont absorbés au niveau de la feuille sous forme de CO_2 et par les racines par le biais de l'eau, H_2O. Les autres éléments sont en général absorbés au niveau des racines.

Depuis la fin du XIX[e] siècle, plusieurs compositions de solutions nutritives sont suggérées avec l'objectif de maintenir des concentrations idéales en éléments nutritifs dans l'environnement racinaire. Hoagland et Arnon, deux chercheurs de l'Université de Californie, mettent au point dans les années 1930 une solution nutritive qui constitue la base de solutions utilisées maintenant par des chercheurs du monde entier. De plus, Hoagland et Arnon préconisent l'utilisation de la culture hydroponique pour la production commerciale de légumes. L'armée américaine produit des légumes en culture hydroponique pour nourrir ses troupes sur les îles de l'océan Pacifique pendant la deuxième guerre mondiale.

Cependant, l'utilisation de l'hydroponie à grande échelle ne connaît son essor qu'avec le développement de la culture sur film nutritif, mieux connue sous son abréviation anglaise, le NFT. L'origine du NFT remonte à 1961. Stiger, un chercheur hollandais, met au point alors un système de culture en laboratoire pour étudier les racines du melon. Au début des années 1970, le NFT devient, grâce aux efforts du Dr. Allen Cooper (qui, à ce moment-là, travaille au Glasshouse Crops Research Institute en Angleterre), une technique de production à l'échelle commerciale. Aujourd'hui, des producteurs de plusieurs pays utilisent le système de culture sur film nutritif pour produire légumes, fleurs et autres cultures. Outre ce système, il existe plusieurs systèmes dit hydroponiques, avec ou sans substrat.

La culture hydroponique, telle qu'on la connaît aujourd'hui, est non seulement une façon efficace de favoriser la croissance et la productivité des cultures, mais aussi une façon de réduire l'incidence des maladies présentes dans le sol et par conséquent de diminuer les applications de pesticides. Plusieurs substrats de culture et de nombreuses méthodes de fertilisation ont été mis à l'essai dans le monde avec plus ou moins de succès et de contraintes. Dans le présent document, il est question de techniques prometteuses sous les conditions climatiques et économiques du Québec, soit la culture sur film nutritif, la culture sur laine de roche et la culture en milieux tourbeux. Nous souhaitons que ce guide soit utile au nombre croissant d'horticulteurs qui s'intéressent à ces techniques de l'avenir.

Nomenclature

Pour certains, la culture hydroponique se réfère exclusivement à des systèmes où les racines baignent dans une solution nutritive en circulation; le volume de substrat est alors limité à celui utilisé lors de la préparation des transplants. D'autres considèrent la culture hydroponique d'une manière plus large; ils incluent sous ce terme la culture dans différents substrats servant de support aux racines. Nous proposons une nomenclature adaptée de Stessier; celle-ci définit la culture hydroponique comme la culture sans sol qui peut être pratiquée de l'une ou l'autre façon mentionnée ci-dessous:

Dans l'eau

Les racines des plantes sont submergées de façon continue ou non dans une solution nutritive. On connaît les techniques de culture:
- — sur film nutritif;
- — en bassins;
- — sur surface inondée par intermittence (tables inondantes, marée haute — marée basse).

En aéroponie

Les racines des plantes sont continuellement ou non dans un environnement saturé de fines gouttelettes de solution nutritive.

Sur sable

Les racines se développent dans un substrat solide (sable, perlite, plastique ou tout autre matériau inorganique) dont le diamètre des particules est inférieur à 3 millimètres.

Sur gravier

Les racines se développent dans un substrat solide de nature inorganique dont les particules ont un diamètre supérieur à 3 millimètres.

Sur laine de roche

Les racines se développent dans de la laine de roche. Ce substrat est fabriqué à partir de minéraux fondus dont on a tiré des fibres qui sont orientées selon les caractéristiques recherchées.

Sur tourbe

Les racines se développent dans la tourbe de sphaigne à laquelle sont ajoutés divers matériaux inertes, le plus souvent de la perlite et/ou de la vermiculite. Les préparations commerciales peuvent également contenir les engrais nécessaires au départ des jeunes plants.

Hydroculture

On regroupe sous ce terme les systèmes de culture qui utilisent des milieux artificiels comme support de culture des plantes ornementales d'intérieur.

La qualité de l'eau[1]

Les producteurs en cultures abritées doivent en tout premier lieu s'assurer de la qualité de l'eau d'irrigation. En effet, une eau de mauvaise qualité peut être à l'origine de rendements médiocres dus à un excès de salinité, à un déséquilibre nutritif ou à la toxicité de certains éléments. Il peut survenir d'autres problèmes comme l'apparition de taches foliaires, le colmatage des systèmes d'irrigation et même l'inactivation de certains pesticides. Le but de cette section du guide est de définir les différents critères d'interprétation qui servent à établir la qualité de l'eau utilisée par les serriculteurs.

La qualité de l'eau et la croissance des plantes

La qualité de l'eau d'irrigation utilisée pour la croissance des plantes repose sur les caractéristiques majeures suivantes:

— la teneur en sels solubles;
— le rapport d'absorption du sodium (R.A.S.) (non considéré en culture sur film nutritif (NFT), sur laine de roche et en milieux tourbeux);
— la concentration en certains éléments et composés majeurs;
— la présence en quantités toxiques d'oligo-éléments.

La teneur en sels solubles

Tout comme le sol, l'eau d'irrigation peut contenir des quantités importantes d'éléments sous forme de sels solubles. Certains d'entre eux jouent un rôle important dans la nutrition de la plante et peuvent être présents dans l'eau à des concentrations suffisantes pour justifier des corrections au programme de fertilisation. D'autres sont moins utiles à la plante, s'accumulent dans la solution (NFT) ou dans le substrat et augmentent la salinité. Les sels les plus importants sont les bicarbonates, les sulfates et les chlorures. La méthode la plus courante pour déterminer la quantité de sels solubles est de mesurer la conductivité de l'eau à l'aide d'un appareil approprié. Les conductivimètres en usage ont généralement des échelles exprimées en millimho par centimètre ou son équivalent le milliSiemens par centimètre. Le TABLEAU 1 indique les valeurs obtenues et leur interprétation à l'aide d'un appareil « SOLUBRIDGE ».

1. Ce chapitre est adapté du guide du CPVQ « Légumes de serre, culture », AGDEX 290/20.

L'utilisation de l'appareil « SOLU-BRIDGE » permet de connaître rapidement les risques d'utilisation d'une eau pour l'irrigation. Les eaux de faible conductivité n'occasionnent généralement pas de problèmes aux plantes mais peuvent causer la corrosion de la plomberie.

Une conductivité très élevée peut être l'indice d'une contamination de chlorures de sodium provenant d'un dépôt marin, d'effluents de certaines industries ou même de sels répandus sur les routes. On trouve fréquemment des sources d'eau salée à divers degrés dans la plaine du Saint-Laurent.

TABLEAU 1 — **Interprétation des valeurs de conductivité électrique d'une eau d'irrigation avec l'appareil « SOLU-BRIDGE »**

Conductivité électrique (mmho/cm)	Interprétation
0,00 à 0,25	Excellent
0,25 à 0,75	Bon
0,75 à 1,50	Moyen
1,50 à 2,00	Passable
2,00 et plus	Excessif

Source: Bedding Plants

La concentration en certains éléments

Les eaux naturelles renferment toujours une certaine quantité d'ions. Il arrive parfois que leur concentration soit trop élevée pour en permettre l'utilisation normale pour l'irrigation. Le TABLEAU 2 indique les concentrations limites qu'il faut respecter pour éviter tout problème de déséquilibre nutritif. La concentration de chacun des éléments dans l'eau d'irrigation doit donc être inférieure à ces valeurs et prise en considération dans le calcul des engrais mis en solution.

Les éléments non désirés sont plutôt considérés comme des polluants de la solution nutritive. Dans cette catégorie, on peut mentionner le sodium, le chlore, les bicarbonates et les sulfates. Ces éléments tendent à s'accumuler dans les systèmes hydroponiques **à solution recirculante** et leur concentration dans l'eau d'irrigation doit donc être de beaucoup inférieure aux valeurs présentées.

Les données du TABLEAU 2 ont été établies pour la tomate mais peuvent servir de référence pour d'autres cultures. Certains élément se révèlent parfois toxiques à des concentrations plus faibles chez des espèces moins tolérantes.

La quantité de chlore ajoutée lors du traitement des eaux de consommation n'est pas toxique à la plupart des plantes.

Les chlorures et les sulfates sont très mobiles dans les substrats et les sols; ils sont donc facilement lessivables. Par ailleurs, ils peuvent s'accumuler dans une solution recirculante. Les eaux dures, traitées à l'aide d'un adoucisseur d'eau, ne devraient pas être utilisées pour l'arrosage des plantes: le calcium et le magnésium sont alors remplacés, à l'aide d'une colonne de résine, par le sodium.

À l'exception du bore et du fluor, les teneurs de l'eau en oligo-éléments, même celle d'un lac ou d'une rivière polluée, ne sont généralement pas toxiques pour les plantes.

Leur teneur respective ne devrait pas dépasser 2,0 parties par million pour le bore, et 7,0 parties par million pour le fluor. Le fluor ajouté à l'eau pour la prévention des caries dentaires peut parfois atteindre un niveau toxique pour les plantes de la famille des liliacées, mais il est sans conséquence pour les légumes de serre.

TABLEAU 2 — **Concentrations maximales permises des éléments dans l'eau d'irrigation**[1]

Élément	Concentration maximale (p.p.m. ou mg/L)
Phosphore (P)	50
Calcium (Ca)	100
Magnésium (Mg)	25-50
Fer (Fe)	3-5
Manganèse (Mn)	0,5-1,0
Cuivre (Cu)	0,05-0,10
Zinc (Zn)	0,20-0,30
Bore (B)	0,25-0,35
Molybdène (Mo)	0,05
Sodium (Na)*	50-100
Chlore (Cl)*	70
Bicarbonates (HCO_3)*	500
Sulfates (SO_4)*	250-350

Source: — Glasshouse Crops Research Institute, 1979
*: — Légumes de serre, AGDEX 290, CPVQ, 1984

1. Données établies pour la culture de la tomate

La qualité de l'eau et le colmatage des systèmes d'irrigation

En culture sur substrat, la plupart des serriculteurs adoptent les systèmes dits « goutte-à-goutte » pour irriguer leurs cultures.

Les systèmes goutte-à-goutte possèdent de très petits orifices qui peuvent facilement se boucher, autrement dit, se colmater. La qualité de l'eau peut intervenir de façon considérable dans ce phénomène de colmatage.

Le risque de colmatage d'une eau d'irrigation peut être évalué à partir de ses qualités physiques, chimiques et biologiques.

Les qualités physiques

La qualité physique fait référence à la présence de particules en suspension dans l'eau (sables, limons, argiles, algues, etc.). La présence de ces particules peut être déterminée en laboratoire à partir de tests de filtration ou de sédimentation plus ou moins complexes.

Une méthode simple, qui peut être réalisée chez soi, consiste à recueillir un échantillon dans un grand bocal de verre propre et transparent. Cet échantillon est placé à l'obscurité et repose durant une période de 12 heures sans être brassé ni déplacé. Il est par la suite observé sous une lumière (avec réflecteur) en l'interposant entre l'oeil et la source lumineuse. La présence de particules visibles en suspension dans l'eau ou déposées dans le fond du pot indique la possibilité d'un problème.

Les méthodes de traitement

Lorsqu'il y a présence d'impuretés, on recommande **l'installation d'un équipement de filtration** approprié après la station de pompage et d'injection des fertilisants, le **nettoyage régulier** du système d'irrigation ainsi que **l'installation de vannes drainantes automatiques**.

Le nettoyage des conduites

On ouvre les lignes et on les laisse couler librement vers l'extérieur ; cela se fait en plusieurs étapes si le système comprend plusieurs sections. Par contre, si le système est muni de vannes drainantes, le nettoyage manuel se limite aux lignes primaires ou secondaires.

L'utilisation de vannes drainantes automatiques

Chaque conduite latérale de dimension réduite (15 mm) devrait être munie d'une vanne drainante. Cette vanne laisse couler l'eau librement pendant un certain temps, au début de l'arrosage, avant de se fermer ; elle permet aussi aux lignes latérales de se drainer à la fin de chaque cycle d'irrigation.

La filtration et les traitements par sédimentation

Il existe plusieurs systèmes de filtration. Le choix doit être basé sur la nature des particules à filtrer et la capacité du système d'irrigation. Votre fournisseur se fera un plaisir de vous informer sur le choix de l'équipement le plus approprié.

Les qualités chimiques

Les problèmes de colmatage les plus fréquents dans les serres sont reliés à la composition chimique naturelle de l'eau d'irrigation et à une mauvaise utilisation des engrais solubles.

La dureté de l'eau

Il est essentiel de connaître la dureté de l'eau avant de choisir un système d'irrigation goutte-à-goutte dont l'utilisation est prévue pour plus d'une année de production (tubes de type « spaghetti », goutteur, etc.). Dans certains cas, lorsque la dureté de l'eau est trop élevée, les goutteurs peuvent être obstrués progressivement par des dépôts de calcaire (carbonate de calcium) ; cette situation ne peut être corrigée une fois que les dégâts surviennent. On juge de la dureté de l'eau à partir des valeurs du TABLEAU 3.

TABLEAU 3 — **Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium ($CaCO_3$)**

Dureté (p.p.m.) $CaCO_3$	Degré relatif de dureté
0 - 50	Très douce
50 - 100	Douce
100 - 200	Modérément douce
200 - 300	Dure
300 et plus	Très dure

Source : Bedding Plants

La prévention

Une eau dure ou très dure qui contient également plus de trois parties par million de sulfure d'hydrogène (H_2S) ne laisse pas de dépôts calcaires dans les systèmes d'irrigation. Les acides (nitrique ou phosphorique) utilisés pour maintenir le pH à un niveau optimal pour la culture contribuent également à prévenir les dépôts.

Il est également recommandé, pour nettoyer les lignes d'irrigation et les goutteurs, de faire circuler une eau acidifiée à un pH 3,5 après une année de culture ou entre deux productions au besoin. Les goutteurs doivent être retirés du substrat pendant le traitement.

L'utilisation des engrais

L'utilisation simultanée d'engrais incompatibles est souvent la cause du colmatage par suite de formation de précipités dans les solutions nutritives concentrées. À haute concentration, il ne faut jamais mélanger le nitrate de calcium avec un engrais contenant des sulfates (sel d'Epsom) ou des phosphates (10-52-10, 20-20-20, etc.) Il est aussi très important de s'assurer que les engrais sont complètement solubilisés avant de procéder à leur injection.

Un filtre à tamis devrait être placé après l'injecteur d'engrais afin de protéger le système d'irrigation. La qualité de ce filtre dépend du système d'irrigation utilisé. Pour les systèmes d'irrigation comportant des

microtubes, on recommande un tamis de 0,8 millimètre (200 mesh) par centimètre carré.

Les qualités biologiques

Le colmatage biologique est causé par la présence simultanée dans l'eau de certaines bactéries, d'hydrogène sulfureux et/ou de fer dissous.

Les échantillons d'eau utilisés pour déterminer le potentiel colmatant d'une eau d'irrigation doivent être prélevés par une personne avertie et subir un traitement chimique particulier avant leur expédition au laboratoire.

La fertilisation

Les sources d'engrais

On choisit généralement, pour la fabrication des solutions nutritives, des sels ou « engrais » les plus solubles possible. D'autres facteurs comme la compatibilité, la proportion d'azote sous forme de nitrate (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+), la présence d'impuretés ainsi que le coût, conditionnent ce choix. Certains mélanges servant à la préparation de « solutions-mères » complètes sont offerts sur le marché. Ces mélanges sont généralement plus chers et moins flexibles que ceux fabriqués chez soi à partir des engrais de base.

Lors de la préparation des solutions-mères, il faut se rappeler que la composition des engrais commerciaux inscrite sur les emballages (12-0-44, 0-0-50) est exprimée en pourcentage de N, de P_2O_5 et de K_2O respectivement alors que la plupart des recettes proposées expriment la concentration des éléments en parties par million (p.p.m.), en milligrammes par litre (mg/L) ou encore en millimoles par litre (mmole/L). Le tableau des équivalences présenté à l'ANNEXE 2 permet de convertir les concentrations des divers éléments dans l'une ou l'autre des unités couramment utilisées pour le calcul des solutions nutritives.

Pour convertir les pourcentages de P_2O_5 et K_2O des engrais commerciaux en pourcentages de phosphore (P) et de potasssium (K), on utilise les facteurs de conversion suivants:

$$\% \text{ de P} = \% \ P_2O^{(1)} \times 0{,}44$$

(1) inscrit sur l'emballage

$$\% \text{ de K} = \% \text{ de } K_2O^{(1)} \times 0{,}83$$

(1) inscrit sur l'emballage

En ce qui concerne la compatibilité, il n'est pas possible de mélanger dans une solution concentrée les phosphates et certains sulfates avec les engrais contenant du calcium ou, en milieu alcalin, des engrais contenant du magnésium. Il faut donc préparer la « solution nutritive fille » (celle qui vient en contact avec les racines) à partir de solutions-mères contenant séparément les éléments incompatibles.

Lorsque les plants sont jeunes, on fournit l'azote principalement sous forme de nitrate (NO_3^-), comme le nitrate de potassium et le nitrate de calcium. Il est recommandé de ne pas utiliser plus de dix pour cent d'azote sous forme ammoniacale dans la composition de la solution nutritive: l'ammonium peut devenir toxique et causer une diminution de rende-

ment. De plus, l'emploi de l'ammonium dans la solution nutritive peut entraîner une baisse de pH. Mentionnons que le nitrate de calcium contient 1 % d'azote sous forme ammoniacal (NH_4+) alors que le nitrate d'ammonium contient 17 % d'azote sous forme ammoniacale (NH_4+).

On utilise généralement des engrais d'une pureté élevée. À partir des engrais de base, on peut préparer une solution nutritive qui tient compte de la teneur initiale de l'eau d'irrigation en éléments nutritifs. Des mélanges qui donnent des solutions complètes sont disponibles commercialement; ils sont plus coûteux et leur utilisation demeure valable dans le cas où la qualité de l'eau d'irrigation le permet. Par contre, lorsqu'un élément est présent en forte concentration dans l'eau d'irrigation, cet élément peut se retrouver en concentration toxique dans la solution si on utilise une préparation complète.

Le fer doit être apporté sous une forme chélatée afin d'éviter qu'il ne précipite. Le chélat est un complexe soluble d'ions métalliques et de substances organiques; il garde les métaux en solution sous une forme assimilable par les racines. On peut utiliser des engrais sous forme chélatée pour les métaux tels le zinc, le fer, le cuivre et le manganèse. Le chélat de fer le moins coûteux et le plus utilisé est le fer EDTA. Son efficacité est cependant réduite à un pH supérieur à 6,0. Le chélat de fer DTPA est efficace jusqu'à un pH de 7,5. Le fer chélaté EDDHA est le plus efficace et le plus coûteux; il ne précipite pas à un pH 12,0. Il peut avantageusement être utilisé lorsque l'eau d'irrigation est riche en calcium.

Le TABLEAU 4 présente les sources d'engrais généralement utilisés pour la préparation des solutions nutritives.

TABLEAU 4 — **Engrais utilisés pour la préparation de solutions nutritives**

SOURCES D'ÉLÉMENTS MAJEURS

	Composition (%)						Solubilité dans l'eau froide (g/100 mL)	Conductivité en solution[1] (mS/cm)
	N	P	K	Ca	Mg	S		
Nitrate de calcium[2]	15,5	—	—	19	—	—	266	0,001
Nitrate de potassium[2]	13,5	—	37	—	—	—	13	0,00125
Nitrate d'ammonium	34,0	—	—	—	—	—	N/D	0,00145
Sulfate de potassium[2]	—	—	42	—	—	18	N/D	0,0012
Phosphate monopotassique	—	23	29	—	—	—	90	0,00065
Sulfate de magnésium	—	—	—	—	10	13	71	0,0006

SOURCES D'ÉLÉMENTS MINEURS ET D'OLIGO-ÉLÉMENTS

	Formule	Solubilité dans l'eau froide (g/100 mL)	Composition (%)
Fer chélaté	EDTA	—	9,0 à 13,0 (Fe)
Sulfate de manganèse[2]	$Mn\ SO_4.4H_2O$	98	24,6 (Mn)
Manganèse chélaté	—	—	12,0 (Mn)
Sulfate de cuivre[2]	$Cu\ SO_4.5H_2O$	31	25,4 (Cu)
Sulfate de zinc[2]	$Zn\ SO_4.7H_2O$	96	22,7 (Zn)
Borax[2] (peu utilisé)	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	—	15,0 (Bo)
Acide borique	H_3BO_3	6	17,5 (Bo)
Molybdate d'ammonium	$(NH_4)_6\ Mo_7O_{24}.4H_2O$	43	54 (Mo)
Molybdate de sodium	$Na_2\ Mo_4O_4.2H_2O$	—	39 (Mo)

Note: La préparation peut varier selon le manufacturier et il est donc essentiel de vérifier sur l'emballage avant de calculer les quantités à mettre en solution.

1 Cette valeur permet d'établir la conductivité de la solution lorsqu'on la multiplie par le nombre de grammes d'engrais utilisé dans 1 000 L de « solution-fille ».

2 La composition et la solubilité peuvent varier selon la source. Exiger la catégorie dite « de serre ».

Le calcul des solutions nutritives

La fabrication d'une solution concentrée, dite « solution-mère », permet de réduire le nombre de manipulations des engrais. Cette « solution-mère », lorsqu'elle est diluée dans la proportion désirée, donne la « solution-fille », c'est-à-dire la solution nutritive ajoutée au milieu de croissance de la culture.

Le volume de « solution-mère » qui doit être préparé dépend, entre autres, de la consommation journalière d'éléments nutritifs (influencée par l'environnement), du facteur de dilution de la solution (généralement de 100 à 200 fois), du lessivage désiré du substrat, de l'autonomie recherchée ainsi que de la fréquence de vidange du bassin (NFT). Le renouvellement de la solution en circulation (NFT) évite l'accumulation excessive de certains éléments.

On prépare une première « solution-mère », appelée « A »; cette solution est concentrée 100 fois dans l'exemple de la FIGURE 1. La solution A contient le nitrate de calcium, le nitrate de potassium et d'ammonium (au besoin) et le fer chelaté. On prépare ensuite une deuxième « solution-mère », appelée « B », de même concentration; cette solution contient le sulfate de potassium (au besoin), le phosphate monopotassique, le sulfate de magnésium (sel d'Epsom) et/ou le nitrate de magnésium.

Solution « A » — 100 litres; concentrée 100 fois

Nitrate de calcium	$CaNo_3$
Nitrate de potassium	KNO_3
Nitrate d'ammonium	NH_4NO_3
Fer chélaté EDTA	

Solution « B » — 100 litres; concentrée 100 fois

Sulfate de potassium	K_2SO_4
Nitrate de potassium	KNO_3
Phosphate mono potassique	KH_2PO_4
Sulfate de magnésium	$MgSO_4$
et/ou nitrate de magnésium	$Mg\ (NO_3)_2$

Solution « C » — 10 litres; concentrée 10 000 fois (1 litre ajouté à la solution B)

Manganèse chelaté
ou sulfate de manganèse
Sulfate de cuivre
Sulfate de zinc
Molybdate de sodium ou d'ammonium
Acide borique, borax

Solution « D » — acide; concentrée 100 fois (quantité à ajouter suivant le pH)

Acide nitrique	HNO_3
Acide phosphorique	H_3PO_4

Solution « D » — basique; concentrée 100 fois (quantité à ajouter suivant le pH)

Hydroxyde de potassium	KOH

FIGURE 1 — **Exemple de préparation de « solution-mère »**

Pour éviter d'avoir à peser des quantités d'oligo-éléments de l'ordre du gramme, on peut en préparer une solution concentrée jusqu'à 10 000 fois. Cette « solution-mère », appelée « C », contient le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le molybdène (Mo) et le bore (B). Dans chaque nouvelle préparation de « solution-mère » « B », on ajoute un litre de la solution « C » pour chaque 100 litres de solution « B ». À cause de sa concentration très élevée, des précipités peuvent se former dans la solution d'oligo-éléments ; on doit donc bien agiter la solution « C » avant de l'ajouter à la solution « B ». Il est également de pratique courante de préparer des solutions individuelles d'oligo-éléments ; ceci permet de modifier facilement les proportions de chacun de ces éléments.

Enfin une « solution-mère » « D », formée d'acides ou de bases, permet de corriger le pH de la solution nutritive et de maintenir les éléments sous une forme assimilable par les plantes.

Les étapes à suivre dans l'ordre, pour le calcul des solutions nutritives

1. **Faire analyser l'eau d'irrigation**
2. **Établir la concentration désirée ainsi que les rapports nutritifs recherchés.** Les ratios K/N, K/Ca et K/Mg sont particulièrement importants. Le TABLEAU 5 présente les ratios généralement observés pour la composition de la solution nutritive dans la culture de la tomate. Le TABLEAU 6 donne la composition de solutions nutritives utilisées en culture hydroponique pour plusieurs légumes cultivés en serre.
3. **Déterminer la quantité d'acide à mettre en solution pour ajuster le pH à 5,5 - 6,0.** Les acides nitrique et phosphorique servent à abaisser le pH. C'est la dureté de l'eau qui détermine la quantité d'acide à ajouter. Dans certains cas, l'acide phosphorique qui est ajouté permet de satisfaire tous les besoins en phosphore. Lorsque le pH n'atteint pas la valeur désirée, l'acide nitrique est alors utilisé. Il faut dans ce cas tenir compte de la quantité d'azote apporté par cet acide. Ces deux acides, utilisés seuls ou en mélange, doivent être manipulés avec précaution.

Il existe une méthode de calcul qui permet de déterminer la quantité d'acide à ajouter à la solution afin d'équilibrer le pH selon la teneur en carbonates de l'eau d'irrigation ; cependant, la meilleure méthode demeure l'essai. À cet effet, on utilise un contenant d'une capacité connue de plus de 100 litres, préférablement en plastique, dans lequel on verse 100 litres de solution fille. De petites quantités d'acide sont ajoutées en agitant constamment la solution. Après chaque addition d'un volume connu d'acide, le pH est mesuré. L'acide est ajouté jusqu'à ce que le pH désiré soit obtenu. On connait ainsi le volume d'acide nécessaire pour corriger le pH d'un certain volume de « solution-fille » et, selon la concentration souhaitée et le volume de la solution « D », on peut alors calculer la quantité d'acide requise dans la « solution-mère ».

Même si on utilise une pompe doseuse couplée à un pH mètre pour corriger le pH de la solution d'arrosage, il est souhaitable de préparer une solution-mère acide de même concentration que les « solutions-mères » « A » et « B ». Cette précaution permet d'observer rapidement toute défectuosité de l'équipement, que ce soit de la pompe doseuse, du pH mètre, du régulateur de pH ou encore de la plomberie. Le volume des « solutions-mères » doit alors se modifier de la même façon.

4. **Soustraire de la concentration désirée** de chacun des éléments la quantité déjà contenue dans l'eau de départ ou celle fournie par le (ou les) acide(s). On calcule ainsi la quantité de chaque élément à être apportée par les engrais.

5. **Calculer les quantités des éléments apportés par une seule source d'engrais :**
   - Nitrate de calcium pour le Ca
   - Phosphate monopotassique pour le P (tenir compte du phosphate ajouté par l'acide phosphorique)
   - Sulfate de magnésium pour le Mg
   - Oligo-éléments (Fe, Cu, Zn, Mo, Mn, B)

   On utilise la formule suivante :

$$\text{Poids de l'engrais en grammes} = \frac{(\text{ppm désiré}) \times (\text{volume en litre de « solution-mère »}) \times (\text{facteur de concentration})}{(\%\ \text{d'ingrédient actif de l'élément désiré dans l'engrais}) \times (10)}$$

Exemple : On désire préparer 20 litres de « solution-mère » concentrée 100 fois et 140 p.p.m. de calcium doivent être apportés à la solution-fille par le nitrate de calcium (15,5-0-0, 20 % de Ca).

$$\text{Poids du nitrate de calcium} = \frac{140 \text{ p.p.m. de Ca} \times 20 \text{ litres} \times 100}{20\,\% \text{ de Ca} \times 10}$$

$$= 1\,400 \text{ g de } 15{,}5\text{-}0\text{-}0,\ 20\,\% \text{ de Ca}$$

6. **Calculer les quantités en p.p.m. des autres éléments** apportées par ces engrais :
   - Le nitrate de calcium apporte également des nitrates
   - Le phosphate monopotassique apporte du potassium

$$\text{Nombre de parties par million} = \frac{(\text{Poids en grammes de l'engrais}) \times (\%\text{ d'ingrédient actif de l'élément dans l'engrais}) \times (10)}{(\text{Volume en litres de la « solution-mère »}) \times (\text{Facteur de concentration})}$$

Par exemple, on peut calculer la quantité de nitrate apportée par le nitrate de calcium :

$$\text{Nombre de p.p.m. de nitrate } (NO_3^-) = \frac{1\,400 \text{ g de nitrate de calcium} \times 15{,}5\,\% \text{ de N} \times 10}{20 \text{ L} \times 100}$$

$$= 108{,}5 \text{ p.p.m. de nitrate } (NO_3^-) \text{ apportés par } 1\,400 \text{ grammes de nitrate de calcium}$$

7. **Ajouter le nitrate de potassium pour compléter les quantités d'azote ou de potassium requises**
8. **Compléter soit le nitrate soit le potassium (selon le cas) avec le nitrate d'ammonium ou le sulfate de potassium**

   La FIGURE 1 illustre la préparation de 100 litres de « solution-mères » « A » et « B » concentrées 100 fois et de 10 litres de solution d'éléments mineurs (« C »).

   Cette dernière solution (« C ») est 100 fois plus concentrée que les solutions A et B et dure ainsi beaucoup plus longtemps.

L'ANNEXE 3 présente un tableau utilisé pour le calcul des solutions nutritives. Les chiffres indiqués constituent un exemple de solution nutritive pour la tomate.

TABLEAU 5 — **Ratios entre certains éléments suggérés pour la composition de la solution nutritive dans la culture de la tomate**

K/N	1,5 à 2,5	selon le stade de développement
K/Ca	2,0 à 2,25	
K/Mg	5,0 à 7,0	

TABLEAU 6 — **Composition de solutions nutritives utilisées dans la culture de tomate, du concombre, de la laitue et du piment en culutre hydroponique (NFT et laine de roche)**

Éléments	Tomate	Concombre	Laitue	Piment
	p.p.m. ou mg/L			
Azote (N)	200	230	200	175
Phosphore (P)	50	40	50	39
Potassium (K)	360	315	300	235
Magnésium (Mg)	45	42	65	28
Calcium (Ca)	185	175	200	175
Soufre (S)	<115	<100	<100	<100
Sodium (Na)	<100	<100	<100	<100
Chlore (Cl)	<175	<150	<150	<100
Fer (Fe)	0,95	0,95	3,0	0,6
Manganèse (Mn)	0,75	0,75	1,0	0,6
Bore (B)	0,35	0,3	0,3	0,25
Cuivre (Cu)	0,08	0,08	0,1	0,04
Zinc (Zn)	0,33	0,33	0,2	0,26
Molybdène (Mo)	0,05	0,05	0,05	0,05

Source : Agro Dynamics, Brooklyn NY

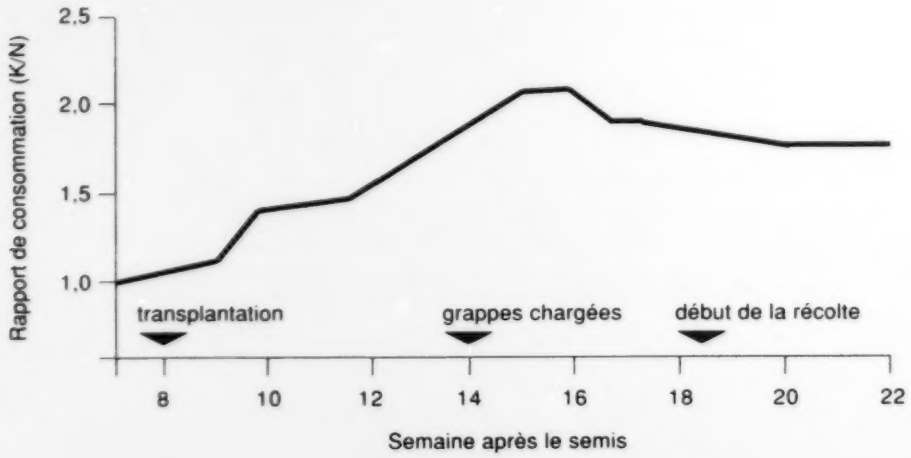
La gestion de la fertilisation

Le rapport K/N

Le rapport K/N est de première importance pour l'équilibre nutritionnel de la plante. La plante prélève le potassium et l'azote dans des rapports qui varient avec son développement. Ainsi, comme on peut le voir à la FIGURE 2, le ratio est de 1,1 au début du stade de croissance végétative de la tomate ; en

pratique, ce ratio n'est jamais inférieur à 1,5 dans les solutions nutritives pour la tomate. Il augmente graduellement de la transplantation jusqu'au début de la récolte pour atteindre 2,2 et finalement se stabilise à environ 2,0. Il faut donc, pour répondre aux besoins de la plante, modifier le rapport K/N de la solution nutritive au cours du développement de la plante.

L'observation des ratios entre les éléments est importante puisque le plant prélève, à partir d'une solution de composition équilibrée, chacun des éléments en fonction de ses besoins: les ions de la solution traversent la membrane cellulaire de façon sélective. Si la composition moyenne de la solution demeure équilibrée, l'absorption reste sélective. Par contre, si un déséquilibre se crée entre les éléments nutritifs, il en résulte des antagonismes. Dans une situation de déséquilibre, l'absorption de certains éléments peut nuire à l'absorption d'autres éléments; il arrive également que, dans ces conditions, l'action d'un élément dans la plante puisse empêcher celle d'un autre élément. Lorsque la solution nutritive est recirculante, on doit la faire analyser chaque semaine. Si le résultat de l'analyse indique des déséquilibres nutritionnels, on doit soit corriger directement la solution du bassin hydroponique en ajoutant un ou plusieurs des engrais de base, soit composer de nouvelles « solutions-mères ». On doit porter une attention particulière aux rapports K/N, K/Ca et K/Mg dans l'interprétation des analyses foliaires et de solutions nutritives (TABLEAU 5).



Source Cooper A., 1979

FIGURE 2 — **Évolution du rapport de consommation K/N de la tomate**

La conductivité électrique

La teneur en sels minéraux de la solution a une influence directe sur l'absorption de l'eau par la plante. « Elle détermine la pression osmotique de la solution. Celle-ci doit être inférieure à la pression osmotique du suc cellulaire pour que l'eau puisse diffuser de la solution vers la plante. La conséquence la plus immédiate d'une concentration saline excessive est une lésion des racines suivie d'un flétrissement de la plante » (BRUN et MONTARONE in « Les cultures hors-sol »).

La conductivité électrique (C.E.) permet d'évaluer la teneur en sels minéraux de la solution. En effet, plus la solution est riche en sels, plus grande est sa capacité de conduire un courant électrique. Cette mesure, prise à l'aide d'électrodes, est exprimée en millimho ou milliSiemens par centimètre (ou micromho ou microSiemens par centimètre).

La conductivité électrique est fonction non seulement de la teneur en sels solubles et de la nature de ces sels mais aussi de la température de la solution. En effet, lorsque la température s'élève, la conductivité électrique (C.E.) augmente en raison de l'activité plus grande des ions en solution.

Comme les besoins de la plante en eau varient au cours de l'année, la conductivité de la solution nutritive requiert des ajustements. De cette façon, la plante peut prélever chaque jour les éléments nécessaires à sa croissance et également puiser l'eau dont elle a besoin pour abaisser sa température interne par transpiration. De plus, il est nécessaire de limiter le développement végétatif de la plante

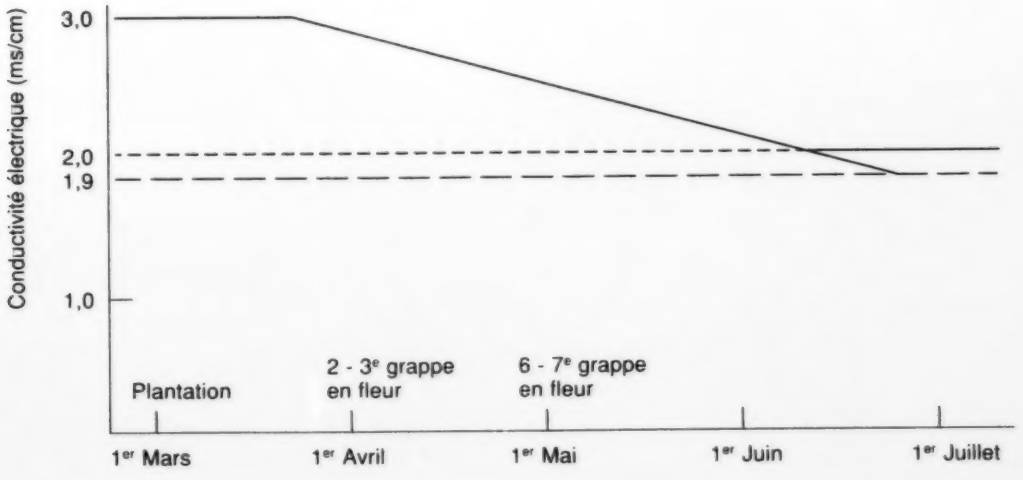
lorsque les conditions d'éclairement naturel sont défavorables au développement des fleurs et à la fructification. Pour ce faire, on augmente la conductivité électrique de la solution.

Par ailleurs, d'autres facteurs, en plus de l'ensoleillement, influencent le développement de la végétation et de la fructification. Une élévation excessive des températures de l'air ou de la solution nutritive risquent d'avantager le développement végétatif au détriment de la fructification. Plus un cultivar est végétatif, plus il requiert un niveau de salinité élevé, donc une conductivité électrique élevée.

On peut accroître la conductivité électrique en augmentant la concentration des éléments nutritifs en solution. On utilise généralement l'azote, le potassium, le calcium et le magnésium pour modifier la conductivité électrique. Ces éléments sont en effet présents en solution à des concentrations qui exercent une influence importante sur la conductivité; de plus, ces éléments restent dans les mêmes proportions afin de maintenir l'équilibre nutritionnel de la solution. Par ailleurs, la concentration du phosphore n'est que peu modifiée en raison de son coût élevé. De plus, les éléments mineurs comme le manganèse, le fer, le cuivre, le zinc, le molybdène et le bore demeurent généralement dans les mêmes concentrations peu importe la valeur de la conductivité.

La FIGURE 3 montre l'évolution de la conductivité électrique dans la conduite d'une production de **tomate de printemps**. Les valeurs présentées le sont à titre indicatif et varient en fonction des conditions particulières d'ensoleillement et de la date de plantation. On observe que, en culture printanière, la conductivité de la solution d'arrosage est élevée lors de la plantation: ceci permet de restreindre le développement végétatif et de favoriser le développement des premières grappes. Après la pollinisation de la première grappe, la conductivité est abaissée graduellement pour atteindre une valeur voisine de 2,0 à 2,5 mS/cm au cours de l'été au moment où les besoins de la plante en eau sont très élevés. On permet ainsi à la plante de puiser plus facilement l'eau dans l'environnement racinaire pour abaisser sa température. Dans les conditions de température élevée (+ de 30°C) et d'intensité lumineuse forte, il peut être souhaitable d'abaisser la conductivité électrique à des valeurs entre 1,9 et 2,0.

Une gestion inverse doit être observée à l'automne. Les conditions d'ensoleillement sont en effet, au moment de la plantation, très favorables au développement des fleurs. Toutefois, l'énergie radiante diminue par la suite, ce qui provoque l'étiolement des plants et l'avortement des fleurs. On élimine ces symptômes indésirables en augmentant graduellement la conductivité électrique en cours de culture.



Source : C. Boivin, 1985

FIGURE 3 — **Évolution recommandée de la conductivité électrique de la solution nutritive pour la production de tomates de printemps**

Le pH

La solubilité des éléments nutritifs est étroitement liée au pH de la solution nutritive. En général, le pH de la solution nutritive augmente avec le temps à cause d'une absorption plus importante d'anions (NO_3^-, PO_4^{---}, SO_4^{--}...) que de cations (Ca^{++}, Mg^{++}, K^+). Or, à un pH trop élevé, certains éléments précipitent et deviennent moins disponibles aux plantes.

Le terme pH se réfère au potentiel d'hydrogène et exprime l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Le pH d'une solution baisse à mesure que la concentration d'ions hydrogène augmente. Le pH est exprimé sur une échelle de 0 à 14. Un pH de 7 est neutre; en dessous d'un pH de 7, la solution est acide, au-dessus du pH 7, la solution est alcaline ou basique.

Comme la solution nutritive en NFT et en laine de roche n'a qu'une faible capacité de résister à un changement de pH, on doit mesurer le pH régulièrement. Chez la tomate et le concombre, le pH optimal varie de 5,5 à 6,0; chez la laitue, il est de 6,0 à 6,5.

Pour maintenir le pH à son niveau optimal, il faut introduire dans la solution nutritive un acide comme l'acide nitrique (HNO_3) ou l'acide phosphorique (H_3PO_4). L'acide phosphorique est moins dangereux à utiliser car il est moins corrosif que l'acide nitrique; cependant, il doit être ajouté en plus grandes quantités pour abaisser le pH. Ces acides fournissent deux éléments essentiels aux plantes; l'azote et le phosphore. Tel qu'il est mentionné précédemment, on peut ajuster le pH grâce à l'un ou l'autre de ces acides ou le mélange des deux: à raison de 1 à 10 litres d'acide dans 100 litres d'eau. On constitue ainsi la « solution-mère » « D ». Cette solution diluée d'acides est ajoutée en petite quantité à la solution nutritive selon le pH de l'eau. Dans les régions où l'eau est dure, le besoin en acide est élevé et l'acide nitrique est alors utilisé en plus grande proportion que l'acide phosphorique. Il peut arriver que le pH d'une eau très douce soit trop bas. Il ne faut pas alors utiliser d'engrais libérant de l'ammonium (NH_4^+) qui est une source d'azote acidifiante. On favorise plutôt l'ajout de phosphate bi-potassique (K_2HPO_4) sous forme de solution 5 % (500 grammes de K_2HPO_4 dans 100 litres d'eau). On peut aussi se servir de l'hydroxyde de potassium (KOH) mais cette base est beaucoup plus corrosive que le K_2HPO_4.

Quelle que soit la méthode choisie pour maîtriser le pH, il faut agir avec les plus grandes précautions en culture hydroponique. Un changement radical du pH peut tuer la plante. Les acides doivent être manipulés avec précaution: il faut porter des gants de caoutchouc et des lunettes protectrices. Pour diluer des acides concentrés, l'acide doit être ajouté à l'eau et non l'inverse.

Eau dans l'acide
SUICIDE

Acide dans l'eau
BRAVO

Conclusion

L'observation régulière des plants par le producteur permet d'ajuster la fertilisation aux conditions changeantes de l'environnement. Les symptômes les plus instructifs demeurent la coloration du feuillage, l'étiolement des tiges et la mise à fleurs et à fruits.

La maîtrise de la conductivité électrique permet de maintenir l'équilibre entre le développement reproductif et végétatif de la plante. Elle permet également à la plante d'ajuster sa consommation d'eau et d'éléments nutritifs en fonction de la radiation solaire disponible.

Comme pour le pH, la mesure de la conductivité doit être faite au moins une fois par jour. Lorsqu'une correction doit être apportée à la « solution-fille », de petites quantités de « solution-mère » « A » et « B » sont ajoutées progressivement dans le bassin hydroponique dans le cas d'un système de solution nutritive recirculante (NFT). Dans le cas d'une culture sur substrat (système ouvert), le ratio d'injection est modifié.

Une analyse hebdomadaire de la solution nutritive fille (celle qui environne le milieu racinaire) permet de s'assurer que la concentration est en deçà du maximum (ANNEXE 4) et les ratios à un niveau acceptable (TABLEAU 5).

Une analyse foliaire, effectuée chaque semaine, permet de bien suivre l'évolution de la culture.

Le film nutritif (NFT)

La technique du film nutritif consiste en une solution nutritive qui contient tous les éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante; cette solution circule en une couche très fine, « le film », dans des caniveaux ou gaines. Les racines des plantes reposent dans ces caniveaux ou gaines et sont partiellement submergées dans la solution nutritive.

Des améliorations ont été apportées à ce système qui, à l'origine, servait d'outil de recherches dans les études sur la croissance des racines: réglage automatisé de la fertilisation, chauffage de la solution nutritive, mise au point de nouveaux modèles de caniveaux, variation du rapport entre les éléments minéraux, augmentation de la conductivité électrique de la solution. Cependant, le principe de base demeure le même, c'est-à-dire la circulation d'une solution nutritive en un « film » mince.

Les avantages et les inconvénients

Cette technique compte plusieurs avantages:
— la faible incidence des maladies;
— une désinfection facile;
— une uniformité de l'irrigation et de la fertilisation;
— une succession rapide des cultures;
— la possibilité de mécaniser les opérations à partir de la plantation jus qu'à la récolte;
— la réduction possible des coûts d'énergie grâce au chauffage de la solu tion nutritive et à l'utilisation de la circulation intermittente;
— des rendements élevés;
— des produits propres et de bonne qualité.

Il y a cependant certains inconvénients:
— un coût d'installation élevé; certains systèmes cependant sont peu coû teux,
— la possibilité que certains pathogènes se reproduisent et se distribuent rapidement dans la solution qui recircule;
— le faible pouvoir-tampon de la solution;
— l'apparition rapide de carences et de toxicités minérales en cas de déséquilibre,
— des problèmes d'oxygénation des racines par suite d'une mauvaise gestion du volume de solution en circulation ou des températures racinaires trop élevées.

Le producteur doit donc être très attentif à la gestion de ses cultures parce que le NFT ne permet qu'une très faible marge d'erreur.

L'oxygénation de la solution nutritive

L'oxygène est nécessaire à la respiration racinaire et, par conséquent, à l'absorption de l'eau et des minéraux. Dans un système NFT, les racines ne sont que partiellement submergées et une grande partie de l'oxygène requis est absorbée directement de l'air. L'autre partie se retrouve dissoute dans la solution nutritive. L'oxygène est cependant peu soluble dans l'eau et sa solubilité diminue à mesure que s'accroît la température. Or, c'est à haute température que les racines consomment le plus d'oxygène.

Théoriquement, les racines sont bien oxygénées en culture NFT. Cependant, le manque d'oxygène est possible sous les conditions suivantes:
— une masse racinaire importante (souvent observée chez le concombre);
— trop de solution nutritive dans les caniveaux;
— la présence de microorganismes et de matière organique en décomposition dans la solution nutritive;
— des caniveaux trop longs (plus de 20 mètres);
— une pente trop faible.

Les symptômes d'une carence d'oxygène sont variés:
— une croissance ralentie des tiges et des racines;
— la mort ou le brunissement des racines;
— le flétrissement;
— l'épinastie (feuilles courbées et déformées et abaissement des pétioles le long de la tige);
— une mauvaise absorption de certains minéraux dont le calcium (possibilité de pourriture apicale);
— la formation de racines adventives au-dessus de la solution nutritive.

Certaines mesures améliorent l'oxygénation de la solution nutritive. On peut ainsi:
— diminuer le niveau de solution nutritive dans les caniveaux et utiliser des caniveaux plus larges;
— augmenter la rapidité de la circulation de la solution (minimum 2 litres par minute par caniveau pour les tomates; 0,5 litre par minute pour la laitue);
— augmenter la pente des caniveaux;
— utiliser la circulation intermittente (voir section suivante);
— garder le système propre, libre de matière organique en décomposition;
— utiliser des caniveaux plus courts;
— lorsque la solution retourne au bassin, la faire tomber d'assez haut pour permettre une bonne aération (création de cascades);

— agiter la solution ou l'aérer avec des pompes à air dans le bassin;
— créer un jet de solution (dans le bassin) qui sort directement de la pompe.

La circulation intermittente

La technique de la circulation intermittente n'est pas en usage au Québec. Son intérêt n'a pas été démontrée sous nos condiitons. La circulation intermittente de la solution nutritive en culture NFT pourrait se justifier par des raisons économiques et physiologiques. D'une part, la consommation d'électricité d'un système NFT (avec une culture de laitue) est réduite de 21 % à 45 % avec la circulation intermittente comparativement à la circulation continue. D'autre part, la circulation intermittente restreint, chez la tomate, la croissance végétative en début de culture, ce qui favorise une récolte précoce et améliore la qualité des fruits. La laitue, cultivée à des taux de circulation de 50 % (15 minutes sur 30 minutes) et de 75 % (22,5 minutes sur 30 minutes), donne des rendements, en poids et en qualité, égaux à celle cultivée en circulation continue. Par ailleurs, la circulation intermittente n'est appliquée qu'à partir de la pommaison.

Le réglage de la circulation intermittente en rapport avec le développement de la plante est important. Chez la tomate, la circulation intermittente durant la période de croissance végétative est efficace; toutefois son utilisation prolongée peut diminuer les rendements.

La façon la plus courante d'effectuer la circulation intermittente des systèmes NFT est d'interrompre à intervalles le courant électrique qui active les pompes. La fréquence de l'approvisionnement est normalement réglée par des minuteries ou des intégrateurs solaires. La minuterie est moins coûteuse que l'intégrateur solaire; cependant, la solution nutritive circule à une fréquence régulière, ce qui ne tient pas compte des exigences du plant ou de l'influence de l'environnement.

Chez le concombre, un régime fixe d'approvisionnement ouvert/fermé de 30 minutes s'avère approprié durant la période de croissance végétative. Cependant, les intégrateurs solaires peuvent amorcer un cycle d'irrigation à partir de la radiation solaire accumulée. La durée de la circulation est fonction de l'âge et de la grosseur des plants ainsi que de la charge de fruits.

Indépendamment du type de minuterie utilisée, le système NFT devrait être modifié. Par exemple, la dimension du réservoir qui reçoit la solution durant la période sèche peut être réduite en faisant alterner la circulation de la solution dans les différentes sections de la serre. La pente des caniveaux doit être appropriée, de façon à favoriser un écoulement rapide.

Le chauffage de la solution nutritive

Un des avantages de la culture sur NFT est le réglage précis de la température des racines. On peut, en chauffant la solution nutritive, augmenter la productivité d'une manière très simple et très économique. Une élévation de la température des racines permet d'obtenir une surface foliaire plus grande ainsi qu'un système radiculaire plus développé. Ces changements entraînent une accélération tant de la photosynthèse que de l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs et, par conséquent, une croissance accrue.

Des recherches récentes permettent d'établir les grandes lignes d'un bon réglage de la température des racines chez la tomate. Tout au cours de la saison de végétation, la température ne doit jamais être inférieure à 15°C afin de prévenir une carence en phosphore ou en fer. Du début de la croissance jusqu'avant la récolte, la température doit être maintenue entre 17° et 18°C pour une culture hâtive de printemps lorsque les conditions d'ensoleillement sont défavorables. Une température supérieure à 20°C durant cette période entraîne une végétation luxuriante au détriment de la fructification et de la qualité des tomates. Du début de la récolte jusqu'à la fin, dans le but de soutenir la production fruitière, on favorise la croissance en élevant la température de la solution nutritive à 25°C.

Une production de laitue semi-pommée peut aussi bénéficier du chauffage de la solution nutritive, ce qui permet de réduire de façon importante le cycle de culture en période hivernale. Une température plus élevée ne doit être appliquée qu'en début de culture seulement. Une température élevée (25°C), maintenue jusqu'à la récolte, entraîne la production d'une laitue de qualité inférieure qui se détériore rapidement en entrepôt. La température devrait être maintenue entre 20° et 25°C, de la plantation jusqu'à la formation de la pomme, puis entre 15° et 18°C jusqu'à la récolte.

L'organisation de la serre et de l'équipement

Le système de caniveaux

La plante est cultivée dans une solution. Cette solution circule à l'intérieur d'un caniveau, habituellement une gaine de polyéthylène qui repose sur une base.

Cette gaine est noire sur la face interne et blanche sur la surface externe. La surface noire prévient la croissance des algues et favorise la croissance racinaire à l'obscurité. L'extérieur blanc réfléchit la lumière dans la serre et évite une trop grande élévation de la température racinaire. La gaine est repliée de façon à former un triangle dont la base permet

aux racines de s'étendre; elle est maintenue fermée à l'aide de pinces. Il est possible de tendre un filament plastique pour lui conserver sa forme triangulaire (FIGURE 4).

Le film de polyéthylène noir et blanc d'une épaisseur de 150 microns (6 mil) qui sert à confectionner les gaines est disponible en rouleau de 60 ou 80 centimètres de largeur et de 300 mètres de longueur. Sa durée de vie peut atteindre deux ans. Il est recommandé de désinfecter la gaine après chaque production.

Le sol peut servir de base au caniveau; il est alors conseillé de le compacter mécaniquement en lui donnant une pente de 1,5 % à 2,5 %. Sur le sol, on étend une mince couche de sable pour éliminer les dépressions indésirables qui causent la stagnation de l'eau dans la gaine. Malgré qu'un système NFT placé directement sur le sol requiert moins d'investissement au départ, il est par contre plus sujet à des irrégularités de la pente causant un mauvais écoulement de la solution à travers les racines. Le sol des serres doit être très bien drainé (ex.: tuyaux de drains à tous les 2 mètres), et de préférence de texture sablonneuse. L'action des gels et dégels répétés peut affecter beaucoup l'ajustement des pentes et le niveau des gaines et de là, amener des problèmes racinaires (trop ou pas assez d'eau, pourriture de racines, etc...). Tout producteur ayant installé son système NFT sur le sol doit revérifier périodiquement les pentes des gaines; à tout le moins en début de saison avant la mise en place des plants dans les gaines.

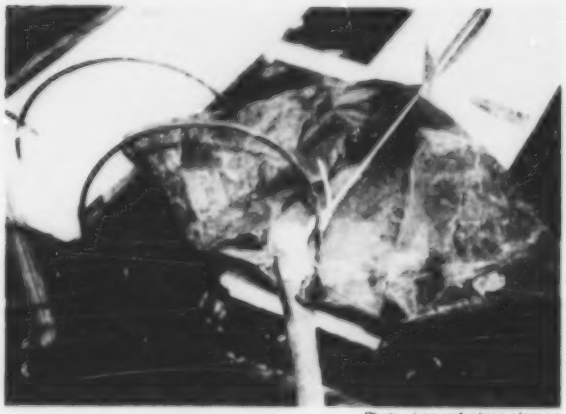


Photo: Les industries Harnois

FIGURE 4 — **Câble sous tension qui retient la gaine et les plantes**

Il est recommandé d'étendre un plastique sur le sol entre les caniveaux pour prévenir la croissance des mauvaises herbes et faire obstacle aux pathogènes du sol. Le film de polyéthylène noir et blanc se prête bien à cet usage; exposé du côté blanc, il permet de maximiser la luminosité en début de croissance. Le sol ainsi préparé est prêt à recevoir les caniveaux.

On peut aussi utiliser des supports en bois (FIGURE 5A), en métal ou en plastique qui supportent la base et donnent au caniveau la pente voulue indépendamment de la configuration du sol (le caniveau est hors sol). La nature du sol revêt alors peu d'importance; sable, gravier ou béton peuvent être utilisés. On peut permettre une pente allant jusqu'à 1,75 % à peu de frais. Les supports peuvent servir de lien entre les caniveaux sur un rang double (FIGURE 5B).

Les types de supports et de caniveaux

Peu importe le matériau choisi, il est bon de prévoir un rebord à la base afin de contenir la gaine de polyéthylène.

Le bois

Les bases de bois sont faciles à confectionner et offrent un facteur d'isolation mais elles sont difficiles à nettoyer, résistent mal à l'humidité et présentent un risque de torsion avec le temps. Les essences de bois et les dimensions varient beaucoup. Un contreplaqué lisse de 2 centimètres d'épaisseur et de 30 centimètres de largeur peut être utilisé. Chaque section d'environ 2 mètres de long est alignée bout à bout pour former une base de la longueur désirée (FIGURE 5).

Le ciment

Les bases de béton, incorporées au sol de la serre, offrent une résistance remarquable au temps, mais leur prix est élevé. Le béton doit être lisse et ne présenter aucune dépression. Les pertes de chaleur par conduction sont considérables. Les bases de béton sont utilisées en Europe.

Le polystyrène

Le polystyrène expansé a une faible portée en charge; il est donc généralement déposé directement sur le sol. Ce matériau ne peut servir de base au caniveau que lorsqu'il est bien supporté. De confection facile, la base en « styrofoam » est généralement fabriquée à partir de pièces de 60 centimètres de large dont on prélève des lanières de 2 et 3 centimètres qui sont collées sur la base en guise de bordures. Le polystyrène de 5 centimètres d'épaisseur est généralement utilisé. Ce matériau est également léger, mobile et peu coûteux (FIGURE 6).

L'acier et le polystyrène

Ce système est de plus en plus populaire. Il est fabriqué en acier galvanisé et en polystyrène et il offre solidité et flexibilité à un prix avantageux. Les bases sont montées sur des supports en acier. Ces supports sont formés de fer angle de 3,0 mètres de longueur réunis pour obtenir la longueur désirée. De petites traverses latérales peuvent lier deux bases pour former un rang double. Le polystyrène est

déposé sur les fers-angles et supporte la gaine de polyéthylène.

L'acier

Cette version, semblable à la précédente, est bâtie d'une seule pièce et requiert moins d'assemblage. Ce système ne nécessite pas de « styrofoam » puisque la base est également faite d'acier. Cependant, son prix est légèrement plus élevé et sa largeur n'est pas ajustable (FIGURE 7).

Les chlorures de polyvinyl (PVC)

Ce caniveau est formé d'un tuyau en PVC traité contre les rayons ultraviolets. Ce système ne nécessite pas de gaine ni d'isolant. Ses dimensions sont variables selon la culture et il est percé de trous de 5 centimètres de diamètre à intervalles réguliers de 20 centimètres. Ces trous permettent l'insertion des plants dans le caniveau. Le tuyau est déposé sur des supports spéciaux et les différents joints sont collés. Généralement, il est muni d'un bouchon vissé à son origine. Malheureusement, les perforations qui servent à insérer les plants laissent pénétrer la lumière, ce qui favorise le développement des algues. De plus, les racines peuvent être difficiles à enlever à la fin de la récolte et la stérilisation se fait difficilement.

Enfin, du fait que le volume offert au développement du système racinaire est restreint, il est possible que la solution nutritive submerge le système racinaire et entraîne une asphyxie. Ce type de caniveau n'est pas recommandé.

Photo C. Bouvin

FIGURE 6 — **Caniveau qui repose sur une base et des rebords en polystyrène**

A

Photo C. Bouvin

B

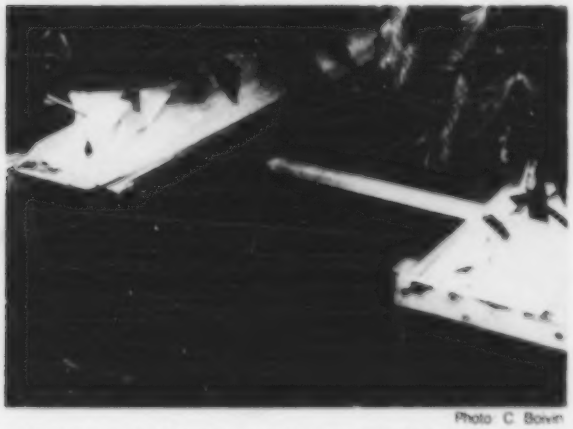


Photo C. Bouvin

FIGURE 5 — **Caniveau monté sur une base en bois**

Photo C. Bouvin

FIGURE 7 — **Caniveau qui repose sur une base en acier**

Le polypropylène

Ce matériau se présente en bande de 30,0 mètres de long et de 0,25 millimètre d'épaisseur. Il remplace la base et la gaine. Sa configuration est la même que le « coroplast » de couleur noire, il limite donc la pénétration de la lumière. La largeur de la bande varie selon l'usage ; par exemple, des bandes de 60 centimètres peuvent être pliées de façon à former des tubes nutritifs triangulaires. Sa composition et sa

configuration rendent le polypropylène isolant utilisable directement au sol ou avec les bases en acier du type fer-angle. Le manufacturier offre une garantie de 5 ans. Sa surface extérieure noire réduit la réflection lumineuse. Ce produit est utilisé en Europe.

La pente

En production NFT, la pente donnée aux caniveaux a comme fonction de permettre un écoulement approprié de la solution nutritive. La vitesse d'écoulement a un effet direct sur l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes. En effet,la concentration en oxygène dissous, la composition en éléments nutritifs et la température de la solution varient en fonction de la vitesse de circulation de la solution nutritive. Une pente faible donne une circulation lente, ce qui occasionne une certaine stagnation dans les dépressions et entraîne la prolifération de pathogènes. Dans le cas de la tomate et de la laitue, la pente minimale doit être de 1,0 %; le rendement optimal s'obtient avec une pente de 1,75 % Une pente de 3,0 % est recommandée pour le concombre quoique cela soit difficile à réaliser commercialement.

La longueur des caniveaux

Les caniveaux ne devraient pas excéder 20 mètres de longueur. Les rendements optimaux sont obtenus avec des caniveaux de 10 à 12 mètres de longueur.

Des caniveaux plus courts nécessitent l'emploi d'un plus grand nombre de tubes d'alimentation et de collecteurs de retour, ce qui augmente les coûts de l'installation.

Réservoir, tubulures et pompes

Les besoins en solution

En culture NFT, les plantes ne disposent pas de réserves nutritives dans l'environnement racinaire. Il est donc nécessaire de maintenir un débit constant de la solution qui contient les éléments nutritifs bien proportionnés selon les besoins physiologiques des plantes. Par exemple, lors d'une journée chaude et ensoleillée, les plantes absorbent et évaporent beaucoup d'eau afin de réduire leur température foliaire. Elles absorbent alors plus d'eau et proportionnellement moins d'éléments nutritifs. Des mesures fréquentes (lorsqu'elles sont prises manuellement) ou constantes (électrodes reliées à un lecteur de conductivité qui commande des pompes doseuses) doivent permettre de maintenir la conductivité électrique au niveau désiré.

La tubulure d'alimentation

La solution nutritive est distribuée dans chacun des caniveaux par un tube flexible de 5 millimètres de diamètre. Un pince-tube permet de régler le débit dans chaque caniveau. Ces tubes sont insérés directement dans un tuyau latéral en polyéthylène qui les alimente. (FIGURE 8).

Un tuyau latéral d'amenée de 20 millimètres de diamètre peut desservir dix caniveaux sans perte appréciable de pression. Pour l'alimentation d'un plus grand nombre de caniveaux, un calcul de perte de charge doit être effectué pour déterminer la grosseur des tuyaux d'alimentation. Chaque tuyau latéral est muni d'une vanne à bille en PVC permettant d'isoler la zone en cas de besoin. Les tuyaux latéraux sont alimentés par une ligne principale en PVC dont le diamètre est évalué par un calcul des pertes par friction.

Note

On doit s'assurer que les matériaux utilisés ne sont pas phytotoxiques. Le polyéthylène, le polypropylène, l'ABS (tuyaux d'égouts domestiques) et le chlorure de polyvinyle rigide (tuyaux de PVC) sont appropriés. On rapporte des problèmes avec le PVC souple et les caoutchoucs synthétiques utilisés comme membranes. Le tube d'acier galvanisé ne doit pas être utilisé de même que les tuyaux de métal (cuivre, fonte, acier, ...)

La canalisation de retour

La canalisation de retour de la solution nutritive doit:

— Recueillir toute la solution nutritive s'écoulant à la fin des caniveaux et l'acheminer sans perte.
— Assurer un écoulement libre jusqu'au bassin collecteur, ce qui suppose un diamètre et une pente en rapport avec les volumes de solution transportés.
— Être durable puisqu'elle est enfouie dans le sol sous les allées de cueillette.

Le tuyau en PVC se prête particulièrement bien à cette fonction; on pratique une ouverture à la surface du tuyau collecteur vis-à-vis la fin des caniveaux

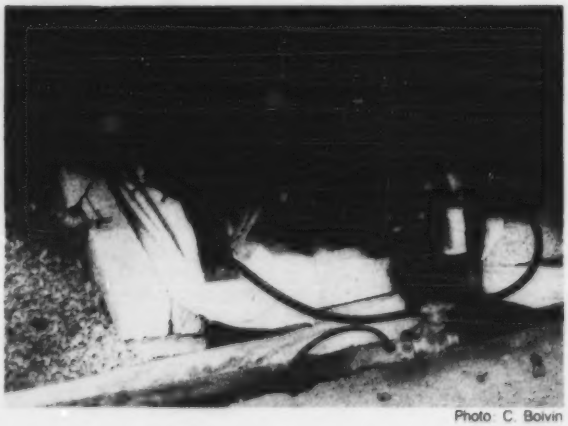


Photo C. Boivin

FIGURE 8 — **Tube flexible qui relie la canalisation d'alimentation au caniveau**

et on dispose un petit entonnoir dans cette ouverture pour recueillir la solution (FIGURE 9).

La canalisation de retour se déverse sur un filtre ou un tamis grossier avant son arrivée au réservoir de manière à recueillir les débris organiques.

N.B.:
Le PVC, s'il n'est pas traité, doit être enfoui car il est photodégradable.

Le TABLEAU 7 présente des exemples de pente pour différents débits. Les pentes données incluent une marge d'erreur et sont donc sécuritaires.

TABLEAU 7 — **Pente de la canalisation de retour selon le débit recherché et le diamètre du tube**

Débit (L/min)	Pente (%)	
	PVC 101,6 mm (4 po)	PVC 152,4 mm (6 po)
3,8	0,33	—
5,0	0,50	—
6,3	0,75	—
7,6	1,25	—
9,5	2,00	—
12,6	3,50	0,50
15,8	—	0,83
18,9	—	1,17

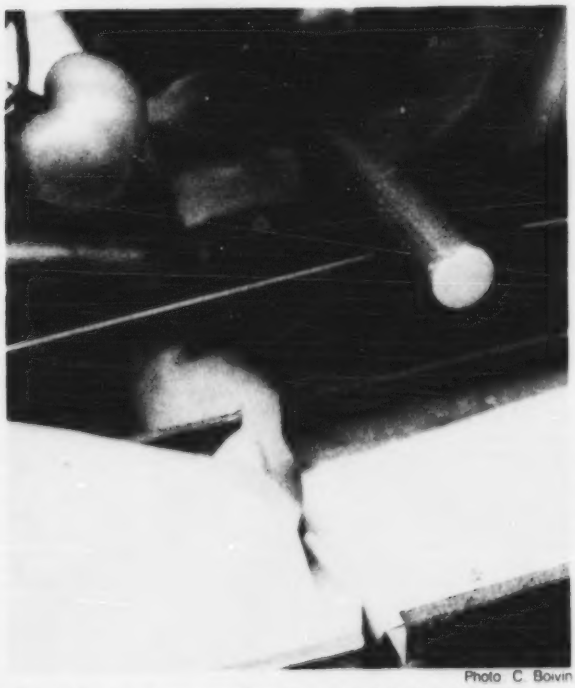


Photo C. Boivin

FIGURE 9 — **Tuyau collecteur placé à l'extrémité du caniveau qui recueille la solution nutritive s'écoulant par gravité**

Le bassin collecteur

La solution nutritive amenée par la canalisation de retour se déverse dans un bassin central où la composition et le volume sont ajustés. Le chauffage de la solution nutritive dans le bassin doit être également prévu.

Ce bassin peut être hors sol ou enfoui dans le sol; il doit être opaque afin de prévenir la croissance d'algues.

Les matériaux suivants peuvent servir à la fabrication du bassin: acier inoxydable, polyéthylène, PVC. On peut également pratiquer une excavation dans le sol, recouverte ou non de bois contreplaqué, que l'on tapisse de polyéthylène.

Si l'entrée du bassin collecteur est plus élevée que l'exutoire de retour de la solution, un bassin collecteur intermédiaire muni d'une pompe est utilisé pour acheminer la solution.

La capacité du bassin collecteur dépend de la culture, de la superficie cultivée et du niveau d'automatisation de l'ajout d'engrais dans le réservoir. Sa capacité peut représenter 10 % du volume total de solution en circulation dans le cas d'un système bien automatisé et jusqu'à 4 litres par plant lorsque l'ajout de l'engrais se fait manuellement. Il faut généralement compter une capacité de 2 litres par plant pour la culture de la tomate, de 3 litres par plant chez le concombre et de 1 litre par plant pour la laitue de manière à éviter des changements rapides des caractéristiques de la solution nutritive.

Les plantes absorbent une partie de l'eau en circulation; le bassin est donc muni d'une vanne à flotte qui maintient constant le niveau de la solution dans le bassin. Les vannes à flotte en PVC résistent bien à la corrosion. Le cuivre et le bronze doivent être évités: la libération du cuivre peut occasionner une forte phytotoxicité.

Le bassin collecteur doit comporter une vanne de drainage et un trop-plein afin de parer à toute éventualité. Il est prudent d'installer sur le bassin une alarme de niveau signalant un mauvais fonctionnement de la vanne à flotte, des pompes de circulation ou de l'alimentation en eau. Dans les bassins de grande taille, il est préférable d'installer des agitateurs ou des pompes d'agitation pour obtenir une solution homogène. Il est également possible d'installer un échangeur de chaleur pour maintenir la température optimale et un aérateur de type venturi pour oxygéner l'eau.

Les pompes circulatrices

La solution nutritive du bassin collecteur recircule continuellement dans le réseau d'alimentation. La sélection de la pompe de circulation tient compte de l'action corrosive des engrais utilisés. Les corps de pompe en acier rouillent rapidement. Les joints

d'étanchéité et les turbines en cuivre ou en bronze présentent des risques de phytotoxicité à cause de la dissolution du cuivre.

Les pompes en matières plastiques comme le Noryl ou le PVC munies de joint d'étanchéité en céramique ou en acier inoxydable (très coûteuse) ne présentent pas de problème. La pompe doit être conçue pour fonctionner 24 heures par jour sans s'échauffer.

La capacité de la pompe dépend du nombre de caniveaux à alimenter, de l'élévation totale et des pertes par friction du réseau d'alimentation (TABLEAU 8). La pression moyenne d'utilisation est de 90 kilopascals.

TABLEAU 8 — **Capacité requise de pompes servant à faire circuler la solution nutritive**

Surface en culture m^2	Débit à 90 kPa L/min	Puissance moteur kW
600	190	0,25
800	245	0,37
900	305	0,56
1 100	340	0,75
1 400	415	1,04
2 000	530	2,25

L'arrêt accidentel de la pompe de circulation, même pour un très court moment, peut causer des dommages très sérieux à la culture selon les conditions de température et d'ensoleillement. Il est donc essentiel d'installer une seconde pompe en parallèle. La mise en marche de cette pompe substitut s'effectue manuellement ou automatiquement par un régulateur de pompes. Le régulateur de pompes de circulation vérifie la circulation de la solution, transfère l'alimentation électrique de la pompe défectueuse à la pompe substitut et signale ce transfert par témoin lumineux ou alarme. Il peut aussi indiquer quelle pompe fonctionne. Plusieurs systèmes font fonctionner également les pompes en alternance de manière à provoquer une usure similaire et à s'assurer du bon fonctionnement de ces équipements.

Entre le régulateur entièrement manuel et le régulateur automatique, il existe différentes possibilités d'alarmes conçues à partir d'un interrupteur à débit, de minuterie et de relais.

L'apport de fertilisants

Les récipients pour les engrais et l'acide doivent résister à la corrosion, être munis d'un couvercle et avoir une capacité déterminée selon la superficie en culture et l'autonomie recherchée. La dimension de ces récipients peut être basée sur une consommation de 2 litres par jour de « solution fille » pour la tomate, de 3 litres par jour pour le concombre et de un 0,5 litre par jour chez la laitue. L'addition de ces solutions au bassin collecteur peut se faire manuellement ou à l'aide de pompes doseuses.

Les pompes doseuses

Ces pompes doseuses peuvent être à commande manuelle, à minuterie ou sous régulateur automatique. Elles sont munies d'un diaphragme ayant une ouverture calibrée sur une échelle de 1 à 10. Elles comprennent une ou plusieurs têtes commandées par le même moteur. La capacité d'injection est fonction de la superficie en culture (FIGURE 10).

Les régulateurs

La mesure de la quantité de sels en solution est donnée par la conductivité électrique (C.E.). La C.E. et le pH peuvent être vérifiés manuellement mais cette méthode de mesure et de réglage est laborieuse et cause des variations de la solution entre deux mesures. Ces lectures devraient en effet être effectuées environ trois fois par jour pour éviter des variations trop grandes.

Le pH

Le pH de la solution nutritive varie constamment à cause des engrais utilisés et de l'absorption préférentielle de certains ions qui est accompagnée de la libération d'autres ions dans l'environnement racinaire.

Il existe du papier qui, lorsqu'il vient en contact avec la solution, change de couleur en fonction de cette solution. On compare cette couleur à la carte des couleurs pour déterminer le pH. Ce test colorimétrique est très peu coûteux, mais sa précision laisse souvent à désirer. De plus, avec le temps, le papier pH tend à fausser légèrement les mesures à cause de l'absorption de l'humidité de l'atmosphère (FIGURE 11).

Il existe sur le marché un assortiment varié de pH mètres portatifs fonctionnant avec des piles. Certains modèles combinent la lecture du pH et de la conductivité électrique. Dans l'ensemble, ces instruments sont fiables et précis (FIGURE 12).

Le régulateur électronique permet de régler le pH optimal désiré avec un écart acceptable. Muni d'une sonde de lecture placée sur la ligne d'alimentation, le régulateur active une pompe doseuse ou tout autre système d'addition d'acide ou de base lorsque le pH diffère trop du pH optimal. Ce type de régulateur peut également actionner une alarme lorsque certains seuils sont dépassés. La FIGURE 13 présente de façon schématique le fonctionnement des systèmes automatiques de réglage du pH.

La sonde doit être nettoyée fréquemment afin d'assurer une lecture précise; un nettoyage tous les 10 jours est essentiel. Il est également recommandé de vérifier l'exactitude de l'appareil à toutes les 2 semaines avec des solutions de calibration.

La conductivité électrique

L'assimilation des éléments par les plantes varie en fonction de la température, de l'ensoleillement, du niveau de CO_2 de l'air, de l'humidité relative, du stade de développement des plantes, etc... de sorte que la composition de la solution nutritive est toujours changeante. La lecture de la conductivité électrique indique la quantité d'engrais en solution mais ne donne aucune information sur la composition. (L'ANNEXE 4 présente les concentrations minimales optimales et maximales pour la culture de la tomate en NFT).

Le choix d'appareil portatif de mesure pour un réglage manuel de la conductivité est restreint à quelques modèles courants (FIGURE 14). Un minimum de trois lectures par jour est recommandé.

Le régulateur électronique de la conductivité est de même type que le régulateur de pH. Il signale le dépassement des limites inférieures et supérieures déterminées par le producteur, active une pompe doseuse lorsque la conductivité diminue; il peut aussi activer d'autres régulateurs au besoin. L'entretien et le réglage s'effectuent selon les mêmes règles que pour le régulateur de pH automatique.

Photo C. Boivin

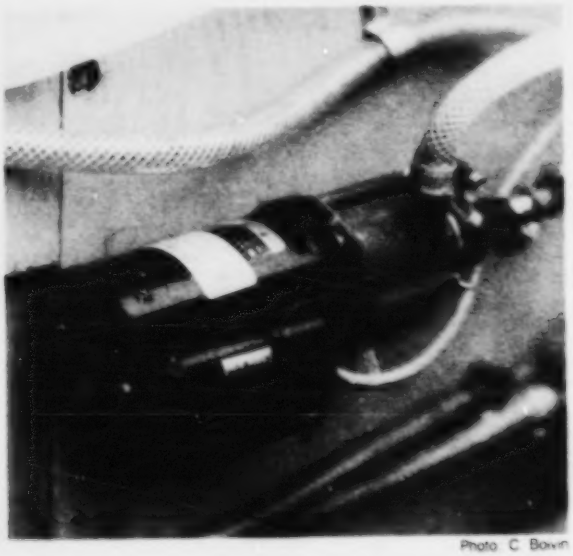


Photo C. Boivin

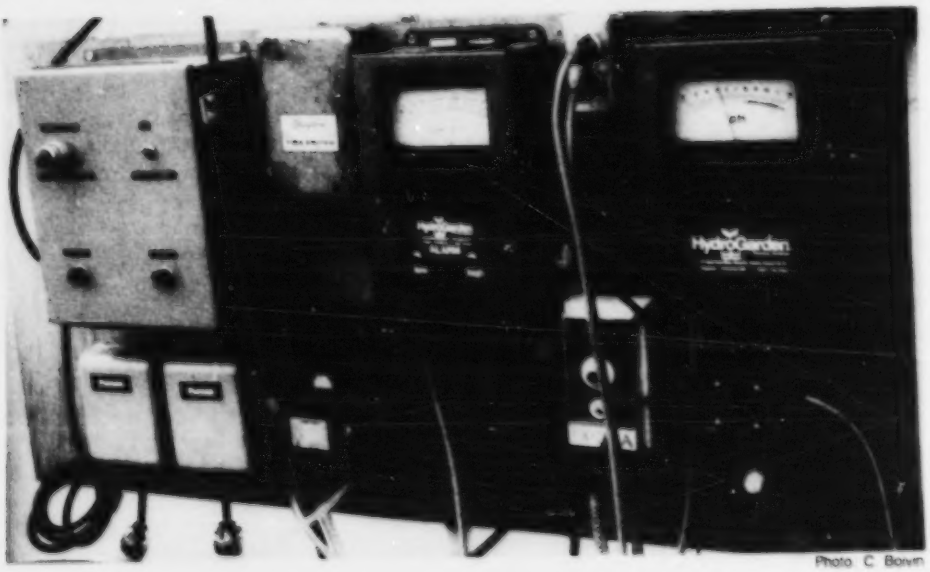


Photo C. Boivin

FIGURE 10 — **Différents modèles de pompes doseuses**

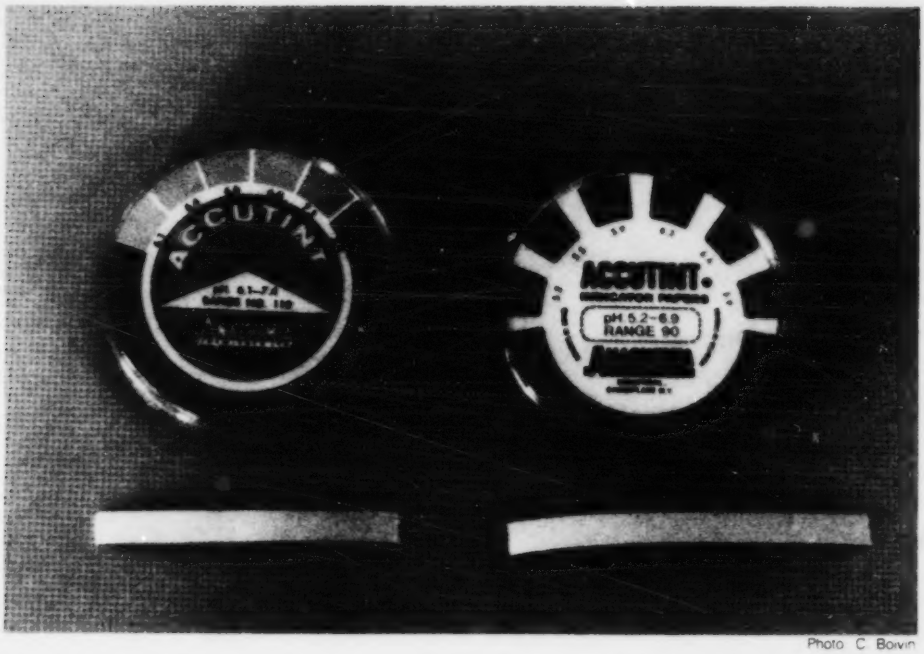


Photo C Boivin

FIGURE 11 — **Papier pH qui donne une mesure relativement précise du pH de la solution**

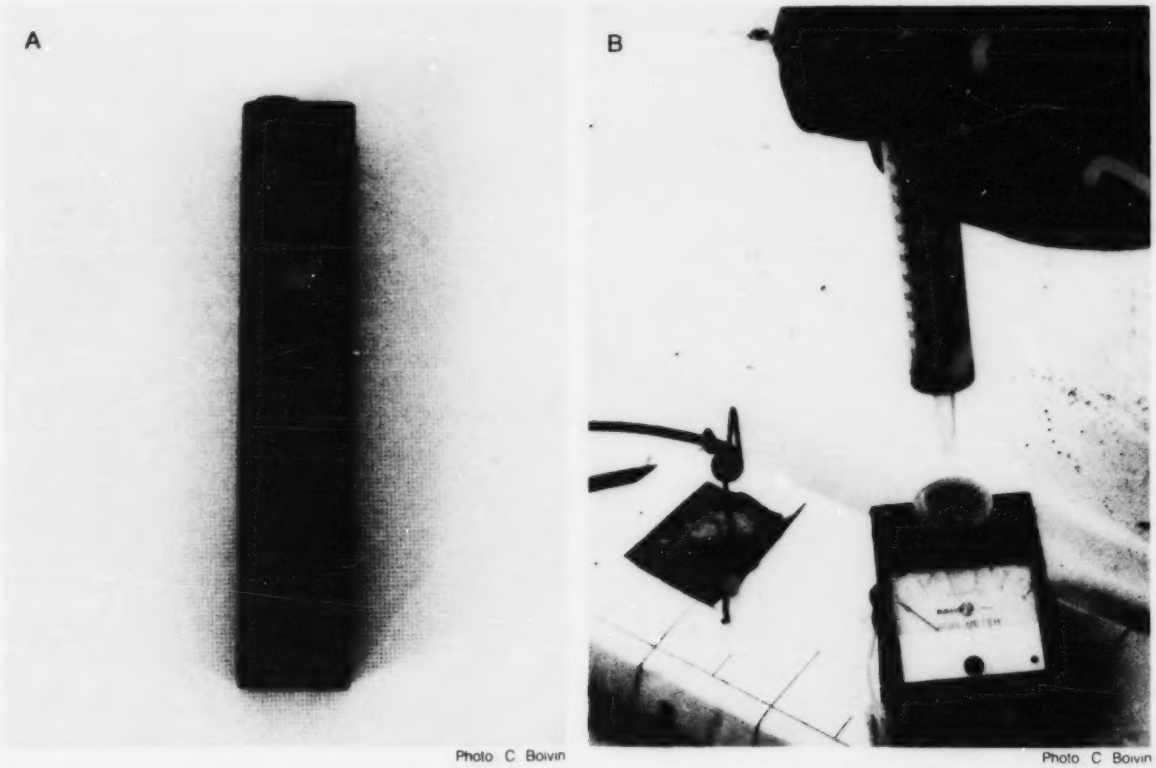


Photo C Boivin

Photo C Boivin

FIGURE 12 — **Différents types de pH mètres portatifs: A — plume; B — qui mesure le pH et la salinité**

Les micro-processeurs

Certains logiciels pour micro-processeur sont à l'étude. Ils peuvent, à l'aide de multiples sondes-électrodes, mesurer chacun des éléments constituant la solution nutritive et apporter des corrections précises. Ces analyses de la solution nutritive sont mises en corrélation avec tous les facteurs intervenants dans la croissance des plantes.

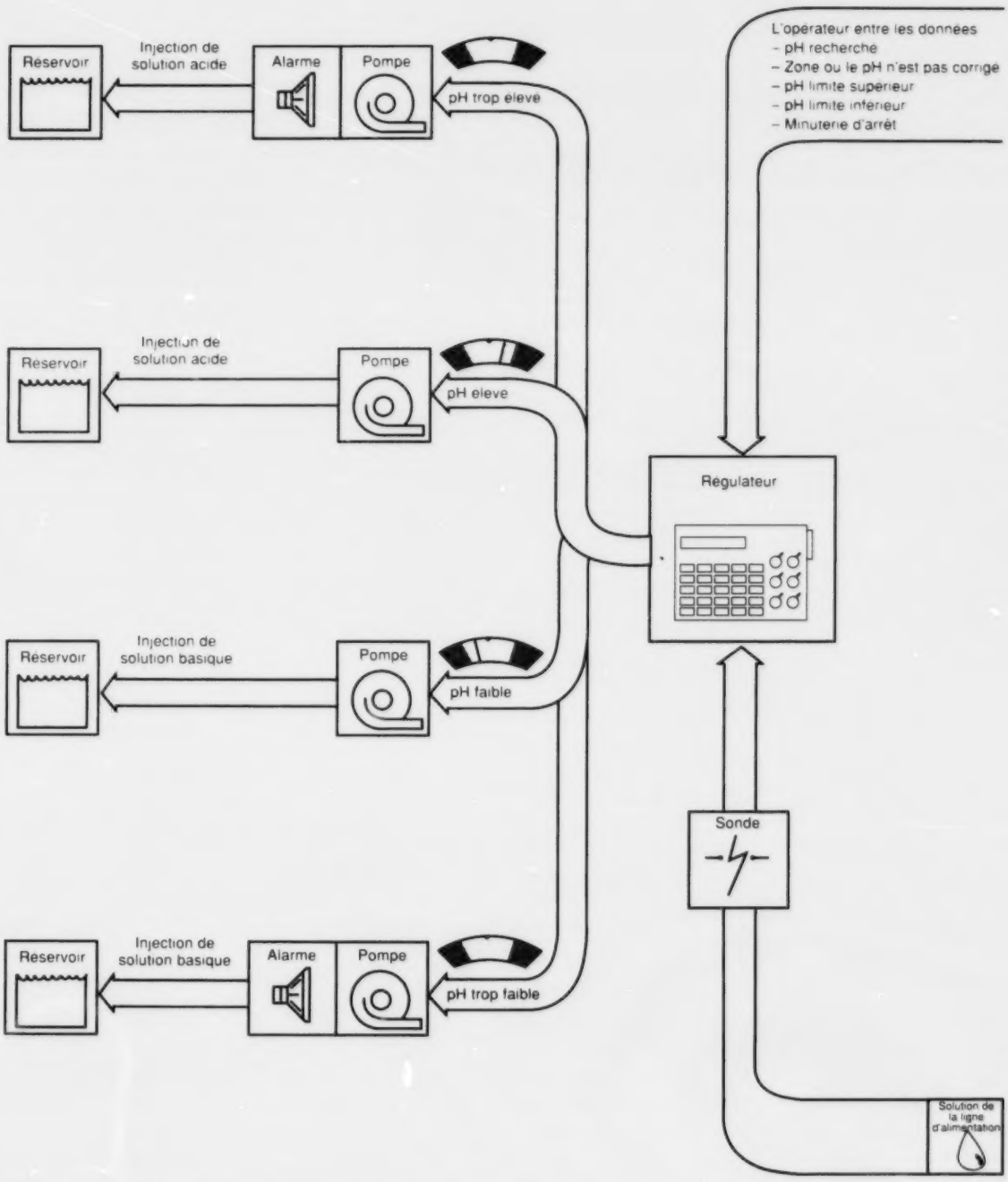


FIGURE 13 — **Schéma de fonctionnement d'un système de maîtrise du pH**

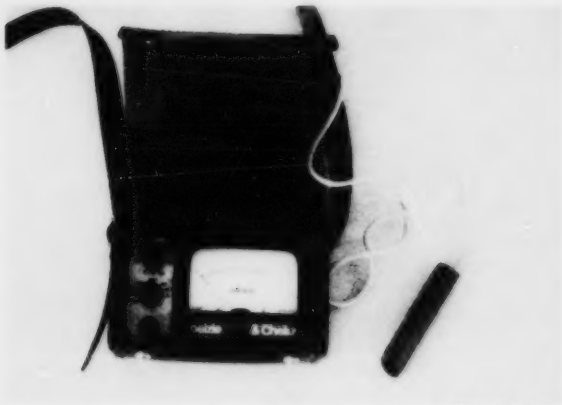


Photo C. Boivin

FIGURE 14 — **Appareil qui permet de mesurer la conductivité électrique (il existe aussi un type « plume » disponible avec lecture digitale)**

La laine de roche

Plusieurs cultures maraîchères sont pratiquées sur laine de roche : tomate, piment, aubergine, haricot. Il en est de même de productions fruitières comme le melon et la fraise. La laine de roche est également de plus en plus utilisée pour la production de fleurs coupées comme la rose, le gerbera, le chrysanthème, le freesia et l'orchidée. L'information disponible sur ce substrat éprouvé depuis plusieurs années est abondante.

La nature du substrat

La fabrication

La laine de roche est commercialisée par plusieurs compagnies. Elle est essentiellement constituée de diabase, de roche calcaire et de coke (résidu de la distillation de la houille). Ces matériaux inorganiques sont fondus à une température de 1 600°C et les fibres obtenues par centrifugation sont pressées selon une orientation et un volume déterminé. Grâce à cette température élevée lors de la fabrication, on obtient un substrat stérile, sans mauvaises herbes ni pathogènes.

La composition

La composition de la laine de roche est voisine de celle de la plupart des sols minéraux. Toutefois, ces minéraux sont sous une forme non assimilable par la plante, sauf pour de faibles quantités de calcium, de magnésium, de fer et de manganèse. Il s'agit donc d'un substrat inerte qui permet d'exercer un réglage précis de la fertilisation.

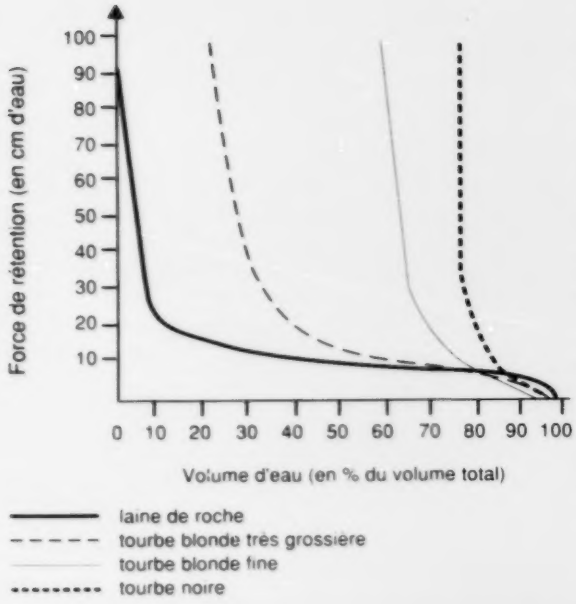
La laine de roche a un pH de 7,5 à 8,0 qui se neutralise facilement en irrigant avec une solution légèrement acide. Le pH optimal de la solution dans le pain est de 5,5 à 6,0.

Les propriétés physiques

La laine de roche a une porosité voisine de 97 % ce qui lui permet de retenir jusqu'à 80 % de son volume en eau. À cause de la dimension de ses fibres et de la surface de ses particules, cette eau est retenue faiblement ; elle est donc facilement disponible pour la plante (FIGURE 15).

Les avantages et les inconvénients

La laine de roche présente de nombreux avantages qui concourrent à sa popularité. Elle permet des économies d'énergie et de main-d'oeuvre en éliminant les coûts initiaux de stérilisation du sol à la vapeur, en rendant inutile le chauffage du sol avant la plantation et en facilitant la localisation du chauffage au niveau des racines. De plus, ce matériau



Source Verdure 1981

FIGURE 15 — **Forces de rétention de l'eau dans différents substrats : laine de roche, tourbe blonde fine, tourbe blonde très groissière, tourbe noire**

inerte et poreux permet un réglage précis de la fertilisation et assure une bonne aération du système racinaire qui est alors moins sensible aux pathogènes. C'est un matériau léger et facile à manipuler qui garde sa structure au fil des années.

La laine de roche peut être réutilisée plusieurs années, après stérilisation chimique ou à la vapeur et les coûts de stérilisation sont moins élevés que pour le sol et tous les autres substrats. Plusieurs expériences font même état d'aussi bons résultats lors d'une seconde année sans stérilisation du substrat. La prudence est toutefois de mise. La laine de roche devrait être stérilisée si le producteur a constaté ou soupçonné sérieusement la présence de pathogènes des racines lors de la culture précédente.

Par rapport à la culture en sol où plusieurs paramètres varient d'un producteur à l'autre, la laine de roche offre la possibilité d'uniformiser la fertilisation et d'échanger de l'information entre producteurs qui utilisent une même technique de production.

Cependant, le volume réduit de substrat disponible par plant exige une grande attention pour le réglage de la fertigation. Le substrat doit être renouvelé après un certain nombre d'années.

Après son utilisation pour la culture, la laine de roche peut être déchiquetée et incorporée au sol ou au milieu de croissance pour la culture en pots dont on améliore ainsi le drainage.

La préparation de la serre

Le nivellement et le profilage du sol

Le nivellement et le profilage du sol de la serre sont des opérations importantes et absolument nécessaires avant la mise en place du substrat. Ces opérations permettent d'éliminer le surplus d'eau et de garder les allées de passage au sec. Elles améliorent ainsi la propreté et l'état phytosanitaire de la serre en minimisant la formation d'algues au sol et en abaissant l'humidité relative de l'air.

On doit tout d'abord niveler le sol de la serre pour éliminer les bosses et les dépressions. On travaille le sol de manière à lui donner une pente nulle dans le sens des rangs afin d'obtenir une irrigation uniforme sur l'ensemble de la superficie. Un niveau identique d'un bout à l'autre du rang évite que la ligne d'irrigation se vide à l'un ou l'autre point après un arrosage.

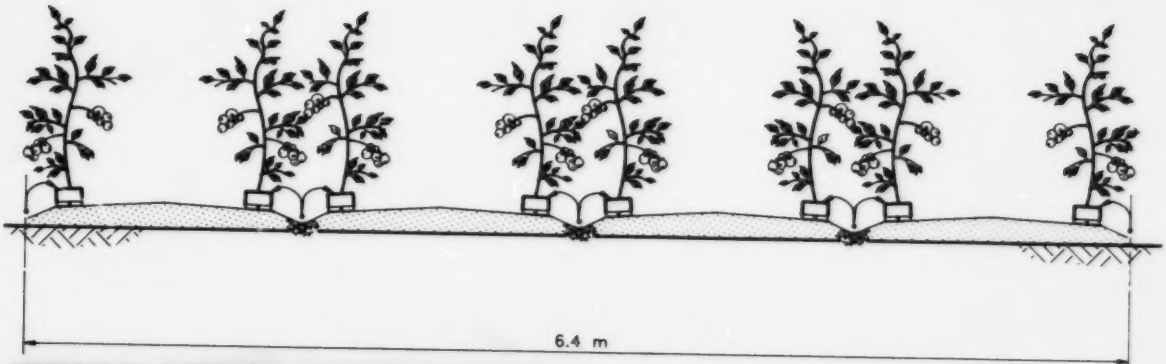
Ensuite, au centre de l'emplacement des rangées doubles, creuser une tranchée peu profonde en forme de « V » destinée à recueillir l'excédent de solution nutritive drainée des matelas. Si le drainage du sol est insuffisant, il est recommandé d'enfouir un drain dans un lit de gravier au centre de chaque rang double (FIGURE 16). Le surplus de terre est ramenée dans les allées pour les surélever et ainsi les garder sèches tout au long de la période de culture.

Pour prévenir la stagnation de l'eau dans la pain de laine de roche, on donne une pente légère de 1 % à 2 % ce qui facilite le drainage du substrat vers l'intérieur du double rang.

Une fois le nivellement et le profilage terminés, compacter légèrement afin d'éviter tout déplacement de sol pouvant créer des dépressions et rendre les opérations culturales plus difficiles.

Le paillis de plastique

Sur le sol nivelé et profilé, étendre un film de polyéthylène résistant noir et blanc. Le côté noir du paillis orienté vers le sol empêche le développement des mauvaises herbes, tandis que le côté blanc orienté vers le haut réfléchi la lumière. Un paillis blanc opaque est aussi utilisé. Le paillis permet également d'éliminer l'évaporation de l'eau du sol qui augmenterait à un niveau indésirable l'humidité relative dans la serre. Finalement, il isole les plants des pathogènes que le sol pourrait contenir.



Source : Les Consultants Audet et Associés

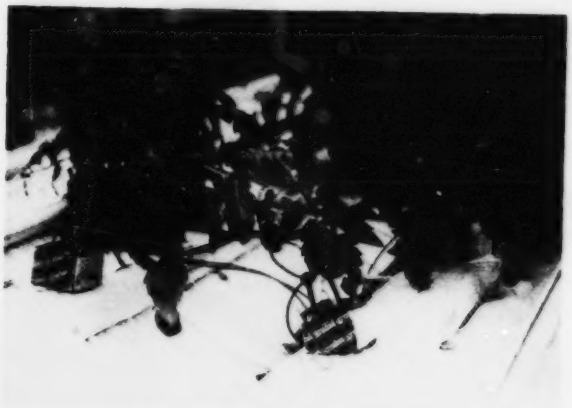


Photo : C. Boivin

FIGURE 16 — **Aménagement des allées, des rangs de culture et du drainage pour favoriser l'écoulement de l'eau**

Éviter de former des plis lors de la pose du paillis plastique afin de ne pas nuire à l'écoulement de l'eau excédentaire.

Le chauffage du substrat

Déposer sur le paillis plastique à l'emplacement prévu pour les sacs de culture, des lisières d'isolant rigide (polystyrène ou « styrofoam ») de 15 à 20 centimètres de largeur (selon la largeur des pains de laine de roche). Cet isolant empêche le refroidissement des sacs par contact avec un sol froid.

La température minimale du substrat doit être de 18-20°C en tout temps. On observe que la température de la laine de roche est voisine de celle de l'air et qu'au cours de la nuit, des températures inférieures à 18°C peuvent être fréquemment obtenues dans le substrat. Il est alors préférable de chauffer le pain de laine de roche en localisant un tuyau de chauffage sous ou sur le côté du pain (FIGURE 17). Une pompe permet la circulation d'eau chaude (maximum de 50°C) dans des tuyaux de carlon et un thermostat placé dans le substrat règle la température de l'eau en circulation.

Le piment et le concombre réagissent bien au chauffage de la solution nutritive.

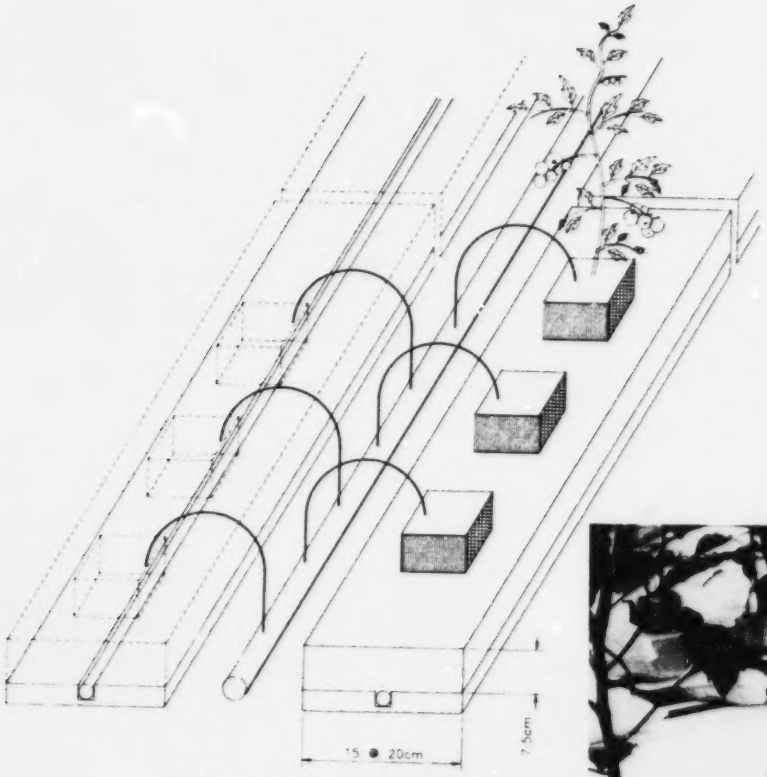
La fertigation

L'équipement

L'alimentation en eau et en fertilisants s'effectue avec un système d'irrigation goutte-à-goutte par micro-tubes ou goutteurs. Plusieurs types de micro-tubes ou goutteurs sont maintenant disponibles sur le marché. Ceux-ci sont installés sur un tuyau de plastique étendu au centre de la rangée double. Ce système à faible débit (2 litres/heure) est fiable et permet une distribution uniforme de la solution nutritive.

Les micro-tubes et goutteurs peuvent se colmater s'il y a des impuretés dans l'eau ou dans les fertilisants. Le colmatage peut aussi résulter d'un précipité formé par suite du mélange incompatible de certains fertilisants ou d'une élévation accidentelle du pH de la solution nutritive à un niveau supérieur à 7,0. Afin d'assurer l'uniformité de l'irrigation, vérifier périodiquement le débit des micro-tubes ou goutteurs.

La fertilisation est assurée par un système d'injection suffisamment précis. L'apport d'engrais se fait généralement à l'aide d'un appareil qui injecte un volume déterminé de fertilisants selon le volume d'eau acheminé par les tuyaux d'irrigation. Une tête



Source : Les Consultants Audet et Associés

Photo : C. Boivin

FIGURE 17 — **Aménagement du dispositif de chauffage sous le substrat de laine de roche pour maîtriser la température racinaire**

d'injection est nécessaire pour chaque bassin de solution concentrée. Bien que l'utilisation d'un bassin indépendant contenant de l'acide permette de régler le pH de façon plus précise, il est également possible d'ajouter cet acide au bassin de solution « B » contenant les sulfates, les phosphates et les éléments mineurs. Dans ce cas, la tête de l'injecteur servant à doser la solution nutritive de ce bassin doit être résistante à la corrosion. Il est préférable, lorsque la dimension de l'entreprise le justifie, d'installer une troisième tête d'injection destinée spécifiquement à doser la quantité d'acide. On peut alors maintenir le pH à la valeur désirée tout en faisant varier la concentration des deux solutions nutritives (« A » et « B ») pour modifier la conductivité de la solution d'arrosage. Le réglage de la conductivité et du pH demeure ainsi indépendant. Une quatrième tête d'injection peut servir à l'injection des éléments mineurs dont la concentration demeure généralement la même en cours de culture.

La gestion de la fertigation

Une irrigation insuffisante augmente la salinité (conductivité) dans le substrat et cause un stress hydrique indésirable pouvant causer de la pourriture apicale, un flétrissement ou des carences minérales. Par ailleurs, la régie de la fertilisation dépend, comme nous l'avons vu, du développement des plants et de la radiation solaire.

La laine de roche est un substrat inerte; les solutions nutritives de base présentées au TABLEAU 6 sont recommandées. Cependant, la composition de la solution nutritive peut varier au cours de la production et selon le cultivar utilisé.

Les conditions qui prévalent dans la laine de roche doivent retenir la plus grande attention du producteur puisque c'est dans cet environnement que les racines évoluent. On doit s'attendre à ce que les concentrations en éléments nutritifs dans le substrat diffèrent des concentrations de la solution nutritive apportée aux plants. Il est connu que certains minéraux (ex: potassium, phosphore) sont plus fortement absorbés que d'autres par la plante et que leurs concentrations dans la laine de roche peuvent être inférieures à celles de la solution nutritive au goutteur. D'autres minéraux (calcium, magnésium) sont absorbés plus difficilement par la plante et ont tendance à s'accumuler dans la laine de roche. L'important est de maintenir un bon équilibre entre ces éléments dans le substrat pour éviter les effets antagonistes. Un lessivage accru de même que des ajustements de la composition de la solution nutritive contribuent à maintenir cet équilibre.

La solution nutritive échantillonnée dans les matelas de laine de roche doit être analysée chaque semaine pour son contenu en élémenets nutritifs, son pH et sa conductivité électrique. Le producteur doit introduire dans sa routine quotidienne, la mesure du pH et de la conductivité électrique de la solution nutritive prélevée à l'aide d'une seringue dans un dizaine de matelas dispersés dans la serre. Les problèmes potentiels seront ainsi rapidement détectés. L'ANNEXE 5 présente un exemple de tableau pouvant servir à la prise de données.

Il est important d'exercer un réglage précis sur la fertilisation puisque la laine de roche n'a aucun pouvoir tampon. Il est préférable d'éviter les changements trop rapides de la composition de la solution nutritive.

La conductivité électrique

Un stress hydrique subi par les plants peut être le résultat d'une faible humidité atmosphérique, d'un haut niveau de radiation solaire, d'un contenu élevé en sels dans l'environnement racinaire ou d'un faible approvisionnement en eau.

L'accroissement de la conductivité électrique dans le substrat de laine de roche diminue la disponibilité de l'eau pour les plants. Une des façons de réduire les effets d'un stress hydrique est de diminuer le contenu en sels dans l'environnement racinaire. Le TABLEAU 9 montre la relation qui existe entre la conductivité électrique de la solution dans l'environnement racinaire, la pression osmotique de cette solution et le taux de transpiration de la plante. On note que le taux de transpiration diminue de façon importante lorsque la conductivité électrique augmente.

TABLEAU 9 — **Effets de la conductivité électrique sur la pression osmotique et le taux de transpiration**

Conductivité électrique (mS/cm)	Pression osmotique (Bars)	Taux transpiration (L/j)
0,5	0,2	6,5
1,0	0,5	5,0
1,5	0,7	4,6
2,0	0,9	4,2
2,5	1,1	3,8
3,0	1,3	3,4
3,5	1,5	3,1
4,0	1,7	2,8
4,5	1,9	2,5
5,0	2,2	2,2

Source: Michael F. Dowgert, 1987

Lorsque les conditions atmosphériques favorisent un haut taux de transpiration des plantes, deux moyens peuvent être mis en oeuvre pour éviter une accumulation de sels dans le substrat et une conductivité électrique trop élevée. Le premier consiste à abaisser la conductivité élecrique de la solution d'arrosage de quelques dixièmes d'unités (milliSiemens/cm ou millimho/cm) lorsque la transpiration des plants est élevée. Cette valeur est réajustée à la hausse en fin d'après-midi alors que l'ensoleillement diminue.

Une deuxième possibilité consiste à augmenter la quantité de solution lessivée hors des matelas. Le taux de lessivage peut atteindre 50 % à l'heure du midi lors d'une journée chaude et sèche d'été alors que la radiation solaire est élevée. Cette méthode nécessite beaucoup d'attention, mais donne de très bons résultats.

La conductivité de la solution nutritive échantillonnée dans le matelas de laine de roche ne devrait pas présenter un écart de plus de 0,2 à 0,5 mS/cm avec la conductivité de la solution d'arrosage. Il n'existe pas de recettes préétablies pour la valeur de la conductivité électrique. Celle-ci dépend de facteurs tels l'ensoleillement, l'humidité relative et la santé des racines.

Le volume et la fréquence d'irrigation

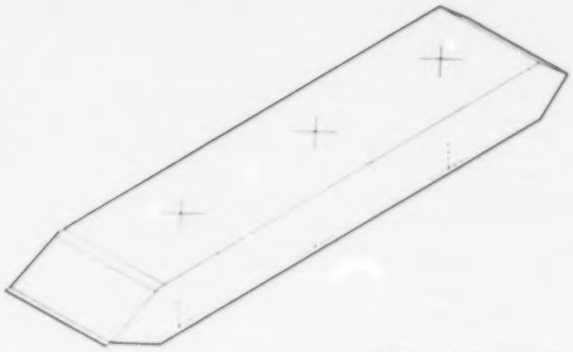
Soulignons en premier lieu l'importance de bien saturer la laine de roche avec une solution nutritive (pH ajusté et fertilisants présents) avant le semis (cubes), le repiquage (blocs) ou la transplantation (matelas). Un volume d'environ huit litres d'eau est nécessaire pour saturer un matelas de laine de roche de 15 × 90 × 7,5 centimètres (volume réel de 10,1 litres).

Après la saturation des matelas, on laisse l'eau imbiber tout le substrat pendant 48 heures avant de pratiquer des incisions dans l'enveloppe pour permettre le drainage (FIGURE 18). Les zones demeurées sèches sont très difficiles à humecter par la suite et limitent le développement des racines c'est pourquoi il est important de laisser le matelas s'imbiber pendant une période de 2 jours.

En cours de culture, l'irrigation est réglée de manière à obtenir un drainage de 15 % à 25 % de la solution nutritive. La solution drainée est généralement perdue et doit être éliminée de la serre. Une partie est évacuée par évaporation tandis que quelques trous dans le polyéthylène recouvrant le sol aux endroits où l'eau cherche à s'accumuler, permettent de disposer de l'excès. Toutefois on tente de plus en plus de récupérer cette solution à l'aide de gouttières très simples placées sous les matelas. L'arrosage se fait alors également à l'aide d'un système goutte-à-goutte. De nombreux développements techniques sont attendus pour permettre la récupération de la solution lessivée puisqu'on observe une augmentation constante de la conductivité électrique de la nappe phréatique dans des pays comme la Hollande où ce problème s'intensifie.

En période chaude et ensoleillée, lorsque les plants ont atteint un bon développement, la fréquence des arrosages peut atteindre de 20 à 30 cycles par jour. Dans le cas de la tomate, la quantité d'eau apportée à chaque irrigation est de l'ordre de 100 à 200 millilitres par plant. Lors de journées chaudes et ensoleillées, le volume de solution nutritive par arrosage est réduit et la fréquence des arrosages est augmentée. Par ailleurs, par temps nuageux, le volume de solution peut atteindre 200 millilitres par arrosage. Dans le cas du concombre,les meilleurs rendements ont été obtenus avec des irrigations répétées à une fréquence allant jusqu'à 40 fois par jour.

La fréquence des arrosages peut être réglée de différentes façons. Le système le plus simple consiste à utiliser une minuterie qui détermine le déclenchement et la durée de l'irrigation. Le volume d'eau par plant est ainsi décidé par le producteur qui peut faire varier le nombre d'arrosages selon les conditions d'ensoleillement prévalant chaque jour. Cette méthode semi-automatique est parmi les moins coûteuses mais elle demeure aléatoire et très



Source: Les Consultants Audet et Associés

FIGURE 18 — **Incisions de drainage à la base du matelas, 48 heures après avoir saturé le substrat avec une solution nutritive au pH ajusté (la fente de drainage doit rejoindre la base de l'enveloppe pour assurer un drainage parfait)**

imprécise. Il existe d'autres méthodes qui considèrent les besoins réels des plants et fournissent le volume de solution approprié selon le développement du plant et les conditions d'ensoleillement.

On peut ainsi utiliser une balance pour déclencher l'irrigation. On y dépose un matelas de laine de roche avec des plants représentatifs de l'ensemble de la culture. Seul le poids du matelas doit influencer la lecture de la balance, c'est pourquoi le plant est attaché à la base à un support qui absorbe la charge du feuillage et des fruits. L'expérience aide le producteur à déterminer le poids de départ de l'irrigation,mais il doit chercher à maintenir constamment l'humidité dans le matelas le plus près possible de sa capacité maximale de rétention d'eau. En pratique, cet équipement est de moins en moins utilisée en Europe.

Un autre équipement permet de déclencher une irrigation en fonction de la quantité de solution lessivée. On place un matelas représentatif de l'ensemble de la culture dans une gouttière dont le fond est percé d'une fente qui laisse s'écouler la solution lessivée du matelas. Ce volume de solution est recueilli et permet le passage d'un faible courant électrique entre deux électrodes. Les électrodes sont disposées de manière à ce que lorsque le volume de solution récupérée diminue, le passage du courant électrique est interrompu ce qui provoque le départ d'un arrosage. Cette gouttière permet également aux racines d'absorber à nouveau une partie de la solution de lessivage, ce qui contribue à déclencher l'irrigation. Cet équipement appelé « start tray » ou gouttière lysimétrique est actuellement le plus populaire auprès des producteurs qui en utilisent un seul pour l'irrigation sur de grandes superficies aux conditions de culture homogènes. Une nouvelle version de cette gouttière existe sur le marché

et permet de déclencher et d'arrêter l'irrigation selon plusieurs possibilités (FIGURE 19). Lorsque les jeunes plants sont installés sur les pains de laine de roche, l'irrigation ne peut être maîtrisé par la dalle lysimétrique tant que les racines n'ont pas pénétré dans le substrat. On utilise alors la minuterie intégrée à l'équipement de maîtrise. Cette minuterie a un vaste choix de temps et de fréquence d'irrigation.

Lorsque les racines ont pénétré suffisamment les pains de culture, on peut alors utiliser la dalle lysimétrique pour déclencher le départ des irrigations. L'arrêt de l'irrigation est commandé par une seconde électrode placée dans un contenant recueillant l'eau de lessivage. On règle également le temps maximal d'une irrigation sur la minuterie de sorte que si l'électrode de mesure du lessivage ne donnait pas de signal, la minuterie à la limite donnerait le signal d'arrêt. Dans le cas où l'électrode de lessivage n'est pas utilisée, le temps d'irrigation est déterminé par le producteur à l'aide de la minuterie. Enfin un autre système permet le déclenchement automatique des arrosages et tient compte cette fois de l'ensoleillement. Un intégrateur de radiation solaire mesure la quantité d'énergie accumulée au cours de la journée. Le seuil d'énergie radiante suffisant pour donner le signal de départ d'une irrigation est fonction principalement du stade de développement des plants. Cette mesure de l'accumulation de lumière est utilisée dans les serres de propagation de plants irrigués par marées haute marées basse (tables inondantes planchers de béton inondants).

Peu importe la méthode qui règle le déclenchement des arrosages, il est recommandé de mesurer le volume d'eau fourni à chaque plant quotidiennement. Il suffit de placer un des gouteurs dans un contenant gradué et de prendre la lecture du volume de solution en fin de journée (FIGURE 20). Cet échantillon permet également de mesurer le pH et la conductivité électrique de la solution nutritive au gouteur et de comparer ces lectures à celles d'un échantillon prélevé dans les matelas.

Par ailleurs, pour mesurer le volume de solution lessivée quotidiennement, on place un matelas représentatif de l'ensemble de la culture dans une gouttière. Des drains situés dans le fond de cette gouttière dirigent la solution lessivée dans un contenant gradué. Le volume de solution recueilli en fin de journée est comparé à celui obtenu au gouteur et on détermine ainsi le pourcentage de lessivage par rapport au volume de solution fourni à chaque plant au cours de la journée.

Une fréquence élevée des arrosages et un drainage de 15 % à 25 % permettent généralement de maintenir le pH de la solution du matelas au niveau désiré. Le pH de la solution peut augmenter à cause de la réaction légèrement alcaline du substrat et de l'utilisation d'engrais azotés principalement disponibles sous forme de nitrates dont l'assimilation par les plantes conduit à la libération d'ions OH^- et HCO_3^-. Par ailleurs, si le drainage est insuffisant, le sodium (Na), le soufre (S) et les bicarbonates de calcium et de magnésium, qui constituent les principaux polluants de la solution, tendent à s'accumuler de façon indésirable.

Photo: Les Industries Harnois

FIGURE 19 — **Exemple de dalle lysimétrique (gouttière de départ) commandant le déclenchement et l'arrêt de l'irrigation.**

La réutilisation du substrat

L'expérience démontre que les sacs de laine de roche peuvent être utilisés plusieurs années consécutives sans occasionner une baisse de rendement. Un nouveau matelas de laine de roche maintenant disponible sur le marché donne une performance accrue grâce à l'orientation de ses fibres. Ce matériau est conçu pour supporter des cultures pendant plusieurs années parce qu'il conserve ses propriétés physiques. La réutilisation des matelas de culture sans stérilisation est envisageable uniquement s'il n'y a pas eu de problèmes de maladies racinaires au cours de la production précédente. Par ailleurs, on peut procéder assez facilement à la stérilisation à la vapeur de la laine de roche en se référant à la section « Les maladies racinaires, la stérilisation du substrat ».

La laine de roche est un matériau qui, en mélange avec d'autres ingrédients, améliore le drainage d'un substrat. Il peut donc être incorporé à un mélange pour la production de plantes en caissettes, de potées fleuries ou d'arbres et arbustes en contenants.

Les matelas doivent au préalable être déchiquetés et une analyse SSE doit être effectuée pour connaître sa composition chimique avant d'incorporer la laine de roche dans un milieu de culture.

Conclusion

La laine de roche possède des propriétés qui en font un substrat très populaire pour de nombreuses utilisations allant de la fleur coupée aux plants de reboisement en passant par les légumes. Elle peut être réutilisée pendant plusieurs années. Une littérature abondante permet aux producteurs de connaître les différents aspects liés à son utilisation et de se référer à des personnes possédant une expertise avec ce substrat.

Photo C. Boivin

FIGURE 20 — **Évaluation de la solution nutritive par plant et par jour.**

Les milieux tourbeux

La tourbe est abondante et de bonne qualité; son utilisation à des fins horticoles et maraîchères est très répandue en Amérique du Nord. Il existe plusieurs types de tourbe. La tourbe blonde disponible sur le marché est composée principalement de mousse de sphaigne (Sphagnum sp) partiellement décomposée (degré de décomposition H1 - H3 selon l'échelle von Post).

La tourbe de sphaigne possède une grande capacité de rétention d'eau (10 fois son poids sec), une bonne porosité après drainage (l'air constitue 25 % du volume total) et une forte acidité (pH de 3,8 à 4,5). Elle est libre d'organismes pathogènes et ne contient que très peu d'éléments nutritifs. Elle possède une bonne capacité d'échange cationique (150 milliéquivalents par 100 grammes), qui lui confère un bon pouvoir tampon. À cause de sa stabilité structurale liée au faible taux de décomposition, la tourbe de sphaigne peut être réutilisée pour au moins trois productions annuelles sans dégradation importante de ses propriétés physiques (Baevre et Guttormsen, 1984). Le TABLEAU 10 présente les propriétés de différents milieux de culture.

Les mélanges

Les mélanges à base de tourbe de sphaigne sont très utilisés. En effet, la tourbe de sphaigne se distingue comme le meilleur substrat pour la rétention des éléments nutritifs et de l'eau tout en maintenant une bonne aération du mélange. Lors de la fabrication d'un mélange, on incorpore généralement de la chaux afin de corriger le pH et des engrais de base afin d'améliorer le contenu en éléments nutritifs.

Les mélanges U.C. (University of California)

Les mélanges U.C. varient du sable fin seulement à la tourbe de sphaigne seulement. Cependant, les mélanges les plus utilisés contiennent en volume entre 25 % et 75 % de tourbe de sphaigne. Ces mélanges sont très utilisés pour la culture de plants en pots, en caissettes et en contenants.

Les mélanges Cornell (Peat-Lite)

Ces mélanges Cornell offrent l'avantage d'être plus légers que les mélanges U.C. puisque le sable est remplacé par la perlite ou la vermiculite. Ces mélanges sont plus coûteux mais la réduction de leurs coûts de transport, à cause de leur légèreté, les rend très compétitifs.

Contrairement aux mélagnes U.C.,les mélanges Cornell sont disponibles déjà préparés. Boodley et Sheldrake (1965) ont mis au point deux mélanges: le Peat-Lite mélange A et le Peat-Lite mélange

TABLEAU 10 — **Propriétés des ingrédients entrant dans la composition des milieux de culture**

Matériau	Densité apparente (g/cm³)	C.E.C. (méq/100 g)	Porosité totale (% de volume)	Rétention en eau	Poids		Perte de structure
					lourd	léger	
Matériaux organiques							
Tourbe de sphaigne	0,086	150	95	Bonne		x	
Bran de scie	0,200	0	87	Bonne		x	x
Écorce	0,268	0	86	Bonne		x	x
Paille	0,102	0	81	—		x	x
Matériaux inorganiques							
Vermiculite	0,131	135	95	Bonne		x	x
Perlite	0,081	0	96	—		x	
Sable	1,59	0	40	—	x		
Sol minéral	1,20	12	70	Bonne	x		
Argile calcinée (expansée)	0,74	0	72	Bonne	x		
Matériaux synthétiques							
Laine de roche	0,070	0	96	Bonne		x	
Polystyrène	0,051	0	96	—		x	

Source Gras, 1983

« B ». Ces mélanges sont composés de parts égales de tourbe de sphaigne et de vermiculite de catégorie no 2 (mélange « A ») ou de perlite de catégorie horticole (mélange « B »). Le premier mélange (« A ») est plus populaire que le second car il est moins coûteux. De plus, la vermiculite augmente la capacité de rétention des éléments nutritifs et le pouvoir tampon du mélange. Par contre, la préparation à base de perlite offre l'avantage d'être plus durable car la perlite ne tend pas à s'affaisser comme la vermiculite.

Ces mélanges sont utilisés pour la germination des semences et la culture des plantes annuelles, des plantes en pots et des légumes en serre.

Les autres mélanges

Afin de diminuer le coût du substrat ou d'améliorer les caractéristiques physiques des mélanges, il est possible de remplacer en partie ou complètement la tourbe et/ou les autres composantes par différents produits comme l'écorce, le bran de scie, la laine de roche hydrophobe et/ou hydrofuge déchiquetée, la perlite ou la vermiculite.

La sciure de bois est utilisée avec succès pour la culture de légumes dans les provinces de l'Ouest canadien et au Québec. Sa faible capillarité peut cependant causer des problèmes de manque d'humidité lors de l'établissement des plants. L'incorporation de mousse de sphaigne dans des proportions de 20 % à 33 % du volume total augmente la capillarité du substrat et améliore ses propriétés chimiques et physiques.

La laine de roche est également très utilisée en Europe en mélange avec la tourbe. La laine de roche représente 25 % et la tourbe, 75 % du volume total. Quelques mélanges de ce type sont également disponibles sur le marché nord-américain. Ces mélanges sont utilisés pour la production de plantes en pot et de légumes en serre.

Les avantages et les inconvénients

Les avantages des milieux tourbeux en serriculture sont :

- une économie d'énergie ;
- une uniformité de la culture ;
- ne absence d'organismes pathogènes, d'où une diminution des risques de maladies ;
- une optimisation de la fertilisation et une réduction des pertes par lessivage ;
- une automatisation plus facile de la gestion des cultures ;
- une réduction de la durée du cycle de production ;
- une augmentation des rendements hâtifs comparativement au sol ;
- ne grande capacité d'échange cationique ; ceci réduit l'effet de l'apport momentané d'un excès de sels ou les brusques variations du pH et procure ainsi une marge de sécurité pour l'utilisateur.

Les désavantages reliés à l'utilisation des substrats tourbeux sont :

- La stérilisation à la vapeur ou chimique entre chaque production. Les substrats tourbeux ont

cependant été utilisés sans stérilisation avec succès pendant trois ans (Baevre et Guttormsen, 1984).

— L'accumulation de sels à des niveaux toxiques pour les plantes. Un lessivage régulier prévient ce problème.

— Une réponse relativement lente aux modifications apportées à la fertilisation car le substrat possède une certaine résistance au changement de la composition de la solution dans l'environnement racinaire (pouvoir tampon).

— L'affaissement avec le temps, ce qui a pour effet, à cause de la forte capacité de rétention de l'eau, de réduire le drainage et possiblement d'atténuer l'aération des racines.

Les systèmes de culture

Plusieur systèmes de culture peuvent être utilisés selon les dimensions des installations. Les systèmes les plus employés sont les sacs et les bacs.

La culture en bac

Les bacs peuvent être fabriqués économiquement en utilisant des planches retenues par des piquets et un film de polyéthylène (FIGURE 21). Un tuyau de drainage peut être installé au fond du bac ou le polyéthylène peut être perforé à tous les mètres à 2 ou 3 centimètres du fond afin de permettre un bon drainage.

La culture en sac

Le nivellement et le profilage du sol

Le nivellement et le profilage du sol de la serre sont des opérations importantes et absolument nécessaires avant de répartir les sacs de culture. Ces opérations permettent d'éliminer le surplus d'eau. Elles améliorent ainsi la propreté et l'état phytosanitaire de la serre en minimisant la formation d'algues au sol et en abaissant l'humidité de l'air. Tout comme dans la culture en laine de roche, il faut niveler le sol de la serre pour éliminer les dépressions et les bosses. Ainsi travaillé, le sol de la serre devrait être complètement horizontal ou posséder une légère pente vers les extrémités. Ensuite, à l'emplacement des rangées doubles, creuser une tranchée peu profonde, en forme de « V », destinée à drainer l'excédent d'eau (FIGURE 16). Les versants où seront déposés les sacs devraient avoir une pente d'environ 5 centimètres sur une largeur de 30,5 centimètres. Ramener le surplus de terre dans les allées pour les surélever. Si le sol ne permet pas un bon drainage, il est préférable d'installer au centre de chaque rangée double, un drain enfoui dans un lit de gravier. Une fois le nivellement et le profilage effectués, compacter légèrement afin d'éviter tout déplacement de sol pouvant créer des dépressions.

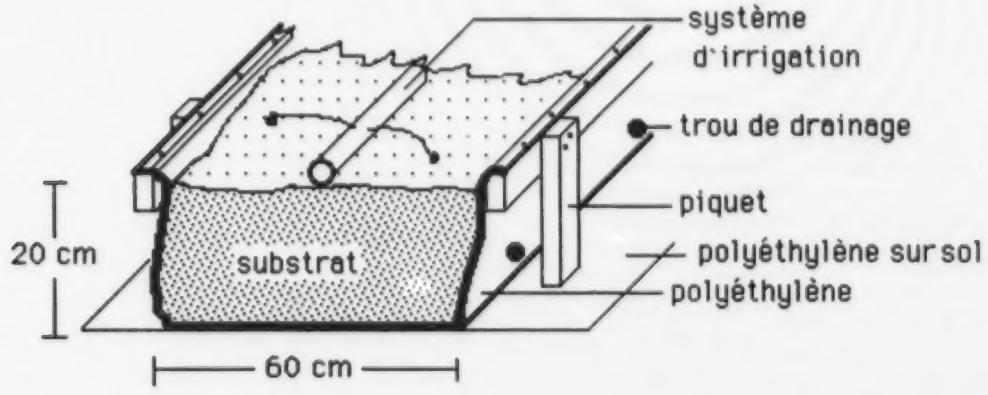
Le paillis plastique

Sur le sol nivelé et profilé, étendre un film de polyéthylène résistant noir et blanc. Le côté noir du paillis orienté vers le sol empêche le développement des mauvaises herbes, tandis que le côté blanc orienté vers le haut réfléchit la lumière. Le paillis permet également d'éliminer l'évaporation de l'eau du sol qui augmenterait à un niveau indésirable l'humidité relative dans la serre. Finalement, il isole les plants de tomate des pathogènes que le sol pourrait contenir.

Éviter de former des plis lors de la pose du paillis plastique afin de ne pas nuire à l'écoulement de l'eau excédentaire.

Le chauffage du substrat

Déposer sur le paillis plastique à l'emplacement prévu pour les sacs de culture, des lisières d'isolant



Source : Roch Ouimet

FIGURE 21 — **Exemple de bac pour la culture en milieu tourbeux**

rigide (styrofoam) de 20 centimètres de largeur. Cet isolant empêche le refroidissement des sacs par contact direct avec un sol froid.

La température minimale à l'intérieur des sacs doit être de 18-20°C en tout temps de l'année. Si le mode de chauffage de la serre ne permet pas de maintenir cette température, il est préférable de chauffer directement le substrat.

Déposer sur les lisières d'isolant rigide, les sacs de culture en prenant soin, si nécessaire, de répartir uniformément le substrat à l'intérieur de chaque sac. Ne pas effectuer immédiatement les fentes de drainage à la base des sacs. La distance entre les sacs sur le rang sera fonction de la densité de plantation et de la largeur des allées (TABLEAU 11). Il n'est pas obligatoire que les sacs soient bout à bout (FIGURE 22).

TABLEAU 11 — **Espacement entre les sacs pour différentes densités de plantation**[1]

Densité de plantation (plants/m²)	Espacement entre les sacs *sur le rang* (cm)
2,5	57,0
3,0	32,0
3,5	16,5

1. Pour des allées et des rangées doubles espacées respectivement de 96 cm et 61 cm.

Le système d'irrigation

L'alimentation en eau et en fertilisants pour une culture de tomate en sac doit s'effectuer avec un système d'irrigation goutte-à-goutte ou goutteurs. Plusieurs types de micro-tubes ou goutteurs sont maintenant disponibles sur le marché. Ceux-ci sont installés sur un tuyau de plastique étendu au centre de la rangée double. Ce système à faible débit est fiable et permet une distribution uniforme de la solution nutritive.

Immédiatement après la transplantation, déposer près du bord de chaque pot un de ces micro-tubes ou goutteurs.

Les micro-tubes et goutteurs peuvent se colmater s'il y a des impuretés dans l'eau ou dans les fertilisants. Le colmatage peut aussi résulter d'un précipité formé par suite du mélange incompatible de certains fertilisants. Afin d'assurer l'uniformité de l'irrigation, vérifier périodiquement le débit des micro-tubes ou goutteurs.

Le volume et la fréquence d'irrigation

Immédiatement après la plantation, irriguer chaque plant avec environ 3,5 litres de solution nutritive pour bien humecter le mélange de culture. Percer les

Photo: Centre de spécialisation des cultures abritées

FIGURE 22 — **Disposition des sacs de tourbe pour la culture du piment**

sacs seulement de 12 à 24 heures après la première fertigation pour évacuer l'excédent de solution nutritive.

La perforation des sacs s'effectue comme suit : aménager quatre fentes de 5 centimètres de long sur le côté du sac, à l'intérieur de la rangée double, près de la surface du sol (une à chaque extrémité et deux autres entre les plants de tomate).

Étant donné qu'à la plantation les racines des plants sont contenues uniquement dans le pot, l'irrigation doit être basée sur le volume du pot et non sur celui du sac.

Durant la première semaine de culture, il faut donc irriguer fréquemment avec un faible volume de solution nutritive (de 200 à 300 millilitres par plant de deux à quatre fois par jour selon l'ensoleillement) afin d'éviter les stress hydriques pour les jeunes plants de tomate. Les racines envahiront très rapidement le sac de culture et dès la deuxième semaine, commencer la fertigation en fonction de la teneur en eau du sac de culture.

La fréquence de fertigation devrait se situer entre 2 et 5 fois par jour, selon les conditions climatiques et le stade de développement des plantes. Lors de chaque fertigation, appliquer la solution nutritive jusqu'à écoulement au travers des sacs, par les fentes de drainage des sacs.

Il est possible de connaître précisément l'eau emmagasinée dans les sols ou les substrats en mesurant sa tension en centimètre de colonne d'eau, en atmosphère ou encore en millibar selon l'appareil.

Dans les substrats artificiels, l'eau utile pour les plantes se situe à des tensions entre 10 et 100 centimètres de colonne d'eau et l'eau facilement utile entre 10 et 50 centimètres de colonne d'eau. L'irrigation devrait être déclenchée lorsque la tension atteint de 40 à 50 centimètres afin de toujours la conserver entre 10 et 50 centimètres de colonne d'eau. L'utilisation d'un ou de plusieurs tensiomètres est fortement recommandée pour une gestion optimale de la fertigation (FIGURE 23). La fertigation peut être commandée manuellement par suite de la lecture du tensiomètre par le producteur ou automatiquement par l'intermédiaire d'un micro-ordinateur ou d'un micro-processeur relié au(x) tensiomètre(s). La fertigation peut être aussi commandée par une minuterie. Cependant, cette méthode est beaucoup moins efficace que celle des tensiomètres car elle peut engendrer des stress hydriques et une perte de fertilisants. Pour minimiser ces inconvénients, le réglage de la minuterie devrait être basé sur les lectures d'un tensiomètre faites durant une journée entière toutes les deux semaines.

Pour optimiser la croissance et le rendement en fruits des plants, il est primordial de fertiguer. La fertigation (TABLEAU 12) permet d'apporter à chaque irrigation tous les éléments minéraux dont les plantes ont besoin ; ainsi les plantes bénéficient d'un approvisionnement régulier en éléments fertilisants. Les stress nutritionnels et les dangers de carence sont donc minimisés.

Photo: Centre de spécialisation des cultures abritées

FIGURE 23 — **Utilisation d'un tensiomètre dans la gestion de la fertigation en milieu tourbeux**

Tout comme pour la culture sur laine de roche, la solution nutritive est généralement préparée à partir de deux solutions concentrées afin de prévenir la formation de précipités insolubles.

La détermination du pH et celle de la conductivité électrique du milieu de culture devraient se faire deux à trois fois chaque semaine. L'analyse minérale du substrat (par la méthode SSE) et celle des feuilles devrait être effectuée au moins deux fois par mois afin d'apporter les modifications à la fertilisation s'il y a lieu. Un guide général d'interprétation des analyses du substrat de croissance par la méthode SSE est présenté au TABLEAU 13. La composition minérale des feuilles permet également de détermi-

ner quels éléments sont présents à des niveaux critiques comme dans le cas de la culture NFT et sur laine de roche (ANNEXE 6). Il est possible également d'appliquer en pulvérisation foliaire des fertilisants afin de corriger rapidement une carence minérale (voir le guide du CPVQ « Légumes de serre, culture » agdex 290/20).

Le pH

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le pH du milieu de croissance est un paramètre très important à surveiller: la disponibilité de plusieurs éléments nutritifs en dépend. Le pH pour la production de légumes de serre en substrat tourbeux devrait se situer à environ 5,4. Bien que les milieux tourbeux possèdent un grand pouvoir tampon, il peut arriver que la variation de pH soit importante, surtout lorsque la fertilisation s'effectue à intervalles. Un pH bas se corrige généralement par l'ajout de nitrate (NO_3^-) comme le nitrate de calcium, et un pH élevé par l'apport d'engrais ammoniacaux (NH_4^+) ou d'acide phosphorique ou sulfurique.

TABLEAU 12 — **Composition des solutions nutritives pour la culture des légumes de serre en milieu tourbeux**

Élément et condition	Concentration (p.p.m.)		
	Tomate	Concombre	Piment
Nitrate (N)	190	170	175
Phosphore (P)	46	38,80	40
Potassium (K)	280	253	240
Calcium (Ca)	140	120	180
Magnésium (Mg)	48	24	45
Fer (Fe)	2	2	1,50
Manganèse (Mn)	1	0,30	0,75
Zinc (Zn)	0,40	0,30	0,20
Bore (B)	0,29	0,10	0,30
Cuivre (Cu)	0,03	0,20	0,15
Molybdène (Mo)	0,06	0,003	0,04
pH	5,7 - 6,5	5,7 - 6,5	5,5 - 7,0
Conductivité électrique (mmho/cm)	2,0 - 2,5	1,8 - 2,4	1,8 - 2,0

TABLEAU 13 — **Guide général d'interprétation des analyses de milieux de culture artificiels suivant la méthode SSE (satured soil extract)**

Élément analysé	Niveau					Remarque
	Bas	Acceptable	Optimal	Haut	Très haut	
Salinité (mmhos)	0-0,74	0,75-1,49	41,5-2,24	2,25-3,49	3,50 + plus	À 3 mmhos et plus la croissance des jeunes plants est affectée.
Nitrate-N (p.p.m.)	0-39	40-79	80-139	140-199	200	Des valeurs supérieures à 200 p.p.m. peuvent entraîner des problèmes nutritifs.
Ammonium-N (p.p.m.)		20-30	100			
Phosphore (p.p.m.)	0-3	4-7	8-13	14-19	20	Des valeurs très élevées ne causent généralement pas de problèmes sérieux. Cependant la disponibilité du K et des éléments mineurs peut être retardée.
Potassium (p.p.m.)	0-49	50-109	110-179	180-259	260	Des valeurs supérieures à 180 p.p.m. peuvent amener des problèmes d'absorption du Ca et/ou du Mg si le niveau de ces éléments est bas.
Calcium (p.p.m.)	0-69	70-139	140-219	220-324	325	Des valeurs supérieures à 220 p.p.m. peuvent amener des problèmes d'absorption du K et/ou du Mg si le niveau de ces éléments est bas.
Magnésium (p.p.m.)	0-29	30-59	60-99	100-149	150	Des valeurs supérieures à 100 p.p.m. peuvent amener des problèmes d'absorption du Ca et/ou du K si le niveau de ces éléments est bas.

Source: Université de Géorgie, Athens, Géorgie, E.U.

La conductivité électrique

Tout comme en culture hydroponique, il est possible de maintenir l'équilibre entre le développement végétatif et reproductif en faisant varier la salinité de la solution nutritive.

Une augmentation de la salinité de la solution nutritive crée un stress hydrique qui entraîne une diminution de la croissance végétative et une meilleure fructification.

Cependant, les milieux tourbeux peuvent accumuler un excès de sels, ce qui entraîne une augmentation, à un niveau excessif, de la conductivité électrique de la solution dans le milieu de croissance. Pour pallier cette situation, un lessivage du substrat par arrosage abondant à l'eau permet d'évacuer ces excès de sels.

La réutilisation du substrat

La réutilisation du substrat tourbeux pour une deuxième ou une troisième année exige une fertilisation légèrement plus faible en phosphore (P) et en bore (B) car ces éléments tendent à s'accumuler dans le substrat tourbeux (Baevre et Guttormsen, 1984). L'analyse minérale des milieux réutilisés permet d'apporter les corrections nécessaires à la fertilisation.

Les travaux de recherche ont démontré que les sacs de culture à base de tourbe peuvent être utilisés une deuxième année consécutive sans occasionner une baisse des rendements. En effet, les propriétés physiques du mélange (aération, capacité de rétention en eau, etc.) sont presque inchangées, car la tourbe de sphaigne est un matériel organique qui a la propriété de se décomposer très lentement. La réutilisation des sacs de culture pour une deuxième année de récolte est envisageable uniquement s'il n'y a pas eu de problèmes de maladies racinaires au cours de la première année.

Entre chaque culture, prendre soin d'abaisser la conductivité électrique du substrat en irriguant seulement à l'eau claire durant la dernière semaine de production ; cela facilitera l'enracinement des jeunes plants au moment de la transplantation.

Si les sacs de culture ne sont pas utilisés pour une autre culture de tomate, prendre les précautions suivantes pour faciliter leur manutention et leur réutilisation à d'autres fins. Durant la dernière semaine de production, arroser seulement à l'eau claire pour abaisser la conductivité électrique. S'il n'y a pas de problème phytosanitaire grave, lorsque la récolte des fruits est terminée, conserver les plants pendant quelques jours encore mais sans les arroser. Les feuilles du plant de tomate évaporeront une grande partie de l'eau contenue dans le sac. Couper le plant de tomate lorsque ses feuilles sont fanées ; le sac sera alors beaucoup plus léger.

Le substrat contenu dans le sac ou dans le bac de culture pour la tomate peut être réutilisé tel quel ou en mélange avec d'autres ingrédients pour la production de plantes en caisettes, de potées fleuries ou d'arbres et arbustes en conteneurs. Effectuer une analyse SSE du matériel usagé avant de l'utiliser pour en connaître la composition chimique. Le matériel peut également être épandu sur les pelouses, plates-bandes ou autres. Les milieux tourbeux sont d'excellentes sources de matière organique. Ils aèrent les sols lourds et augmentent la capacité de rétention en eau des sols légers.

Les maladies racinaires

Cette section ne se préoccupe que des problèmes phytosanitaires du système racinaire en culture hydroponique et sur substrat tourbeux. Pour des informations sur les autres maladies, consulter le guide « Légumes de serre, culture » (Agdex 290/20, Conseil des productions végétales du Québec).

Le sol est un milieu propice à la croissance de nombreux pathogènes. L'absence de sol élimine donc beaucoup de maladies. Cependant, l'environnement racinaire en hydroponie et en milieux tourbeux n'est pas entièrement à l'abri des pathogènes (TABLEAU 14). Un pathogène peut se propager très rapidement dans la solution recirculante d'un système NFT ou par le système d'irrigation en culture sur substrat.

La culture en NFT et sur substrat favorise également la croissance des algues; ces organismes ne causent généralement pas de maladies mais peuvent bloquer la tuyauterie et consommer de l'oxygène nécessaire aux plantes. On limite le développement des algues en empêchant la lumière de pénétrer dans les caniveaux, le substrat de croissance et les bassins de solution nutritive.

TABLEAU 14 — **Pathogènes identifiés en culture hydroponique**

Pathogène	Hôte		
	Tomate	Concombre	Laitue
Maladies fongiques			
Colletotrichum coccodes	+		
Fusarium oxysporum	+	+	
Olpidium brassicae			+
Olpidium radicale		+	
Phytophthora cryptogea	+	+	
Phytophthora nicotianae		+	
Phomopsis sclerotioides		+	
Pythium aphanidermatum	+	+	
Pythium dissotocum			+
Pythium debaryanum	+	+	
Pythium ultimum	+	+	
Pythium myriotylum	+	+	+
Pythium intermedium		+	
Pythium irregulare			+
Pyrenchaeta lycopersici	+		
Verticillium albo-atrum	+		
Maladies bactériennes			
Erwinia carotovora	+		
Pseudomonas solanacearum	+		

Source: Stanghellini (1986) et Winsor et al (1985)

La prévention

Le lutte contre les maladies en hydroponie s'exerce surtout au niveau de la prévention. Il faut éviter tout contact entre le milieu de croissance et le sol par l'utilisation d'un paillis de polyéthylène. Les transplants introduits dans le système ainsi que le substrat de propagation, laine de roche, cubes « Oasis », etc. doivent être exempts de maladies. Il faut enlever tout débris organique présent dans le milieu de croissance. Après chaque récolte en NFT, il est bon de nettoyer les caniveaux et de les désinfecter avec de l'eau de Javel (solution à 5 %), après quoi il faut rincer abondamment.

Lorsque cela est possible, des cultivars résistants aux principales maladies devraient être utilisés. Par exemple, les cultivars de tomate Caruso, Vision, Buffalo, Vedettos, Dombito, Dombello, KR15 et KR 381 sont résistants au Fusarium.

Plusieurs auteurs rapportent que, lorsqu'ils tentent d'introduire des pathogènes dans la solution nutritive en circulation, le développement de maladies est lent ou inexistant. Lorsque les plants sont sains et que les racines n'ont subi aucun dommage, les pathogènes inoculés disparaissent après un certain temps ou vivent en saprophytes sur les racines sans causer de symptômes de maladies. On observe également que, si un plant est attaqué, l'éradication de ce plant élimine les risques de dispersion de la maladie et que, lorsque les mesures normales d'hygiène sont respectées en cours de culture, les producteurs en NFT ne rencontrent que peu de problèmes.

Par ailleurs, une mauvaise gestion cause l'affaiblissement des plants et crée un environnement propice au développement de pathogènes, responsables de l'apparition de maladies. Les conditions suivantes, qui favorisent l'établissement de pathogènes, peuvent le plus souvent être évitées:

— une température de la solution inférieure à 15°C ou supérieure à 30°C (*Pythium sp.*);
— une mauvaise oxygénation des racines (pente trop faible, racines complète ment submergées, débit trop faible, etc.);
— un bris des racines lors des manipulations;
— une salinité et un pH à des niveaux pouvant endommager les racines.

En culture sur substrat, les micro-tubes (goutteurs) ne doivent pas être placés trop près des plantes, afin de prévenir la pourriture des tiges.

La stérilisation du substrat

La littérature rapporte de nombreux cas où l'utilisation, sans stérilisation à la vapeur, de la laine de roche ou de milieux tourbeux pour une deuxième

année consécutive permet des rendements comparables à ceux obtenus sur substrat traité. Il est cependant recommandé de stériliser pour une plus grande sécurité.

La laine de roche est le substrat qui demande le moins d'énergie pour la stérilisation. La vapeur présente plusieurs avantages par rapport aux produits chimiques qui ne sont pas aussi efficaces contre *Fusarium*.

Les matelas sont disposés sur des pallettes jusqu'à une hauteur de 1,5 mètre et sont recouverts d'une bâche étanche servant à contenir la vapeur. La température des matelas doit atteindre 100°C si l'on désire éliminer les virus. Le TABLEAU 15 indique les températures à atteindre pour éliminer les différents pathogènes. Lorsque l'enveloppe de polyéthylène du matelas est retirée, le traitement à la vapeur dure environ 2 heures. Cependant, si cette enveloppe, résistante à la chaleur, demeure autour des matelas, le traitement prend 5 heures.

Il est nécessaire de mesurer la température à l'endroit le plus froid afin de s'assurer qu'une température minimale de 70°C est atteinte en tous les points pendant un minimum de 30 minutes.

La stérilisation de la tourbe demande qu'on retire le substrat de son enveloppe. Le traitement à la vapeur prend de 3 à 5 heures. On doit par la suite réensacher le milieux tourbeux dans de nouvelles enveloppes.

TABLEAU 15 — **Températures à atteindre pour détruire certains pathogènes**

Pathogène	Température (°C)*
Virus résistants (ç-à-d. TMV)	90 - 100
Microorganismes utiles	80
Bactéries et la plupart des virus	70
La plupart des champignons pathogènes	60
Nématodes	50

* À maintenir pour 30 minutes.

La répression

Parmi les pathogènes qui peuvent causer des dommages chez la tomate, on mentionne : *Phytophthora cryptogea, Colletotrichum coccodes, Pythium ultimum* et *P. irregulare, Didymella* sp. et *Fusarium oxysporum*. Chez le concombre, les pathogènes particulièrement redoutés sont *Pythium ultimum* et *P. irregulare* et *Phytophthora cryptogea*.

Seul le bénomyl est homologué au Canada pour la culture de légumes. Utilisé à une concentration non toxique pour les plants, il n'est efficace que contre *Fusarium*. La dose efficace est de dix parties par million de produit actif et cette concentration n'offre toutefois pas de protection contre *Pythium* et *Phytophthora*.

Pour réprimer la veine gonflée de la laitue (causée par un champignon unicellulaire, *Olpidium brassicae*, porteur d'un virus) et certaines autres maladies, on peut ajouter un agent mouillant comme « agral » à la solution nutritive ; la concentration recommandée est de 20 p.p.m. (mg/L). L'agent mouillant tue les zoospores du champignon *Olpidium* ainsi que celles du *Pythium* et du *Phytophthora*. À noter que la veine gonflée n'est pas fréquente au Québec ; cette pratique ne s'utilise donc que rarement.

Il est important de noter que dans les systèmes NFT et en laine de roche, la concentration des pesticides introduits dans la solution nutritive est réduite par rapport aux recommandations sur l'étiquette. **On parle généralement de 10 %-15 % de la concentration indiquée** mais avant d'utiliser un pesticide, il est bon de consulter un agronome-spécialiste.

Le chlore a également été expérimenté en culture hydroponique, mais il s'agit d'un désinfectant non sélectif qui devient phytotoxique lorsqu'il est présent à des concentrations efficaces contre les pathogènes.

La répression des maladies est facilitée par l'utilisation de lampes à rayons ultra-violets (U.V.) qui traitent un certain volume de solution en circulation (NFT, laine de roche avec solution récupérée). Ce traitement ne peut toutefois atteindre les champignons attachés aux racines mais semble efficace contre les bactéries. Cependant, les rayons U.V. font précipiter le fer de la solution nutritive. En effet, après 24 heures d'irradiation, la solution nutritive peut perdre jusqu'à 95 % de son fer. Il faut donc en rajouter régulièrement. De plus, les lampes U.V. sont assez dispendieuses et la rentabilité de cette technique n'est pas encore démontrée.

Un traitement rapide, qui porte la solution en circulation à hautes températures, est actuellement expérimenté en Europe et semble très prometteur.

Conclusion

Une bonne gestion de la culture, qui donne des plants sains, se fait en prévenant l'envahissement du milieu racinaire par les pathogènes. La prévention demeure le moyen de lutte le plus efficace. La désinfection des structures et des équipements et une hygiène stricte diminuent les risques de contamination.

Peu de produits sont disponibles pour lutter contre les maladies qui affectent les légumes de serre. En culture hydroponique, ils doivent être utilisés en concentrations réduites pour ne pas causer de toxicités.

Le remplacement des sols contaminés par des techniques de culture hors sol offre une avenue des plus intéressantes pour surmonter les difficultés associées aux productions intensives de serre et l'expérience des dernières années permet de regarder l'avenir avec beaucoup d'espoir.

ANNEXE 1

Bibliographie

Adamson, R.M. et Maas, E.F. 1976. **Amount and kind of growth media in soilless greenhouse tomato production.** Hort Science 11:212-213.

Anonyme, 1982. **Commercial applications of NFT**, 2ieme édition. Grower Books Ltd., London, England, 93 p.

Anonyme, 1979. **Nutrient Film Technique.** Growers' Bulletin No. 5. Glasshouse Crops Research Institute, 47 p.

Baevre, O.A. et Guttormsen, G. 1984. **Reuse of peat bags for tomatoes and cucumbers.** Plant Soil 77:207-214.

Bedasie, S. 1986. **The effect of intermittent flow on the growth and development of NFT lettuce.** Thèse de maîtrise, Université McGill, 150 p.

Blanc, D. éditeur, 1987. **Les cultures hors sol**. Institut national de la recherche agronomique, Paris. 416 p.

Boivin, C., 1988. **Les maladies racinaires en culture hydroponique.** L'Horticulteur 5:12-13.

Boodley, J.W. et Sheldrake, R. Jr. 1965. **Cornell Peat-Lite mixes for commercial plant growing.** Inform. Bull. 43. Ithaca. N.Y. Cornell Univ. 8 p.

Cooper, A.J. 1979. **The ABC of NFT**. Grower Books Ltd., London, England, 181 p.

En collaboration, 1984. **Légumes de serre, culture.** Conseil des productions végétales du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Gouvernement du Québec, 156 p.

Gras, R., 1983. **Quelques propriétés physiques des substrats horticoles**, P.H.M. Revue Horticole, no 230, 232, 233 et 234.

Graves, C.J. 1983. **The nutrient film technique.** Hort.Rev. 5:1-44.

Graves, C.G. et Hurd, R.G. 1983. **Intermittent solution circulation in the nutrient film technique.** Acta Hort. 133:47-51.

Hurd, R.G. et Graves, C.J. 1981. **Controlling the water supply.** Grower 96(19): 17-22.

Jackson, M.B. 1980. **Aeration in the nutrient film technique of glasshouse crop production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dioxide.** Acta Hort. 98:61-78.

Mastalerz, J.W. éditeur, 1976. *Bedding Plants.* Pennsylvania Flower Growers, 615 p.

Robinson, D. 1985. **Finding a buffer to solve an acid problem.** Grower 103 (25): 30-31.

Runia, W. Th. 1986. **Disinfestation of substrates used in protected cultivation.** Soilless Culture 2:35-44.

Savage, A.J. éditeur, 1985. **Hydroponics worldwide: state of the art in soilless crop production.** International Center for Special Studies, Honolulu, Hawaii.

Smith, D.L., 1987. **Rockwool in horticulture**. Grower Books Ltd, London, England 153 p.

Sonneveld, C., 1980. **Growing cucumbers and tomatoes in rockwool.** ISOSC, Proceedings 1980: 253-262.

Verdure M. 1981. **Cultures sur laine de roche aux Pays-Bas.** Techniques de cultures et aspects économiques P.H.M. Revue horticole, Janvier (213) p. 49-61.

Verwer, F.L. et Welleman, J.C., 1980. **The possibilities of Grodan rockwool in Horticulture.** ISOSC, Proceedings: 263-278.

Winsor, G.W. 1984. **NFT and other modern hydroponic systems.** Symposium International sur la Serriculture, 27 octobre 1984, Université Laval.

Winsor, G.W. Hurd, R.G. et Price, D. 1985. **Nutrient film technique**, 2ieme édition. Growers Bull. #5, Glasshouse Crops Res. Inst., Littlehampton, England.

ANNEXE 2

Conversion d'unités utilisées dans le calcul de solutions nutritives et symboles des éléments

Élément	Symbole	Masse atomique (g)	mmole/L	Forme absorbée par la plante
Azote	N	14,0	14,0 p.p.m.	NH_4^+, NO_3^-
Phosphore	P	31,0	31,0 p.p.m.	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{--}
Potassium	K	39,1	39,0 p.p.m.	K^+
Calcium	Ca	40,1	40,0 p.p.m.	Ca^{++}
Magnésium	Mg	24,3	24,0 p.p.m.	Mg^{++}
Sodium	Na	23,0	23,0 p.p.m.	Na^+
Chlore	Cl	35,5	35,5 p.p.m.	Cl^-
Soufre	S	32,1	32,0 p.p.m.	SO_4^{--}
			umole/L	
Fer	Fe	55,9	0,056 p.p.m.	Fe^{++}, Fe^{+++}
Cuivre	Cu	63,5	0,064 p.p.m.	Cu^+,Cu^{++}
Zinc	Zn	65,4	0,065 p.p.m.	Zn^{++}
Manganèse	Mn	54,9	0,055 p.p.m.	Mn^{++}
Bore	B	10,8	0,011 p.p.m.	$H_2BO_3^-$
Molybdène	Mo	96,0	0,096 p.p.m.	MoO_4^{--}

p.p.m. = x mmole/L x Y p.p.m./mmole/L

Exemple: Pour convertir 3 mmoles/L de potassium en partie par million (p.p.m.):
p.p.m. K = 3 mmoles/L x 39 p.p.m./mmole/L = 117 p.p.m.

ANNEXE 3

Tableau utilisé pour le calcul des solutions nutritives

		% de chaque élément							Éléments en solution (p.p.m.)								Solution mère		
	SOURCES	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	N	NH_4	NO_3	P	K	Mg	Ca	S	Fe	g / 1000L	X 10 / 100L	X Réelle
A	Nitrate de calcium	15.5		20					144	9	135				186			930	9 300	18 600
	Nitrate de potassium	13.5		38					57				160					422	4 220	8 440
	Nitrate d'ammonium	34																		
	Fer chélaté EDTA							10									29	290	580	
B	Acide nitrique	14.9							16		16							110	110	220
	Acide phosphorique		27																	
	Sulfate de potassium			43.2			18.4						180			77		417	4 170	8 340
	Nitrate de potassium	13.5		38																
	Phosphate monopotassique		23	29								59	75					258	2 580	5 160
	Sulfate de magnésium				10		13							53		69		530	5 300	10 600
	10-52-10	10	22.4	8.3																
	Analyse de l'eau pH 7.2 C.E. = 0,22																			
	Solution désirée (p.p.m.) pH 6,0 C.E. = 2,7																			

		% de chaque élément						Éléments en solution (p.p.m.)						Solution mère		
	SOURCES	Mn	Zn	Cu	Mo	B	S	Mn	Zn	Cu	Mo	B	S	g / 1000L	X 1000 / 100L	X Réelle
C	Sulfate de manganèse	27						0,98						3.63	3 630	7 260
	Sulfate de zinc		36						0,19					0.53	530	1 060
	Sulfate de cuivre			25.3						0,14				0.55	555	1 110
	Molybdate de sodium				39						0.05			0.13	130	260
	Bore					20						0.29		1.45	1 450	2 900
	10-52-10															
	Analyse d'eau							0,02	0,01	0,01	—	0.06				
	Solution désirée (p.p.m.)							1,0	0,2	0,15	0,05	0.35				

Source : Les consultants Audet et Associés selon le tableau original de M. Guy Poirier

ANNEXE 4

Concentration recherchée des éléments dans une solution nutritive destinées à la tomate en culture hydroponique

Élément	Concentration en mg/L ou p.p.m.		
	Minimal	Optimal	Maximal
N (Nitrate, NO_3^-)	50	150-200	300
N (Ammoniaque, NH_4^+)	—	—	7
P	20	50	200
K	50	300-350	800
Ca	125	150-300	400
Mg	25	50	100
Fe	3	6	12
Mn	0,5	1	2,5
Cu	0,05	0,1	1
Zn	0,05	0,1	2,5
B	0,10	0,3-0,5	1,5
Mo	0,01	0,05	0,1
Na	—	—	250
Cl	—	—	400

Source Winsor G.W. et al. 1985

ANNEXE 5

Tableau servant à la collecte de données pour une culture sur laine de roche

Producteur :							Serre :					
Date	Climat			Solution nutritive			Solution drainée			Laine de roche		
	T° Min	T° Max	% HR	pH	C.E.	Qté (ml)	pH	C.E.	Qté (ml)	pH	C.E.	T°

Source : Agro-Dynamics

ANNEXE 6

Composition minérale des feuilles de tomate et de concombre

ÉLEMENTS MAJEURS ET MINEURS

	Tomate		Concombre	
	Normal %	Écart acceptable %	Normal %	Écart acceptable %
N	5,25	5,00 à 5,50	6,00	5,75 à 6,25
P	0,60	0,50 à 0,80	1,00	0,85 à 1,25
K	4,00	3,75 à 5,25	4,00	3,75 à 5,25
Mg	0,45	0,40 à 0,50	0,45	0,40 à 0,50
Ca	1,50	1,50 à 4,00	1,50	1,40 à 2,00
S	1,76	0,96 à 4,00	1,50	1,40 à 2,00

OLIGO-ÉLÉMENTS

	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.
B	75	33 à 99	75	30 à 108
Cu	13	10 à 16	12,7	1,9 à 19,0
Fe	245	100 à 390	234	95 à 300
Mn	264	55 à 385	320	50 à 600
Mo	5,8	0,96 à 9,6	3,07	0,96 à 5,76
Zn	45	19 à 84	137	58 à 196

Source : Légumes de serre, culture, CPVQ, agdex 290

Gouvernement du Québec
**Ministère de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation**

02-9003